ALTA FIDELIDAD: Ecualizadores

NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA





BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

ALTA FIDELIDAD:
Ecualizadores



Esta obra es una nueva edición actualizada y ampliada de la obra originalmente publicada por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, con el título de «Aplicaciones de la Electrónica»

El contenido de la presente obra ha sido realizado por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, bajo la dirección técnica de José Mompin Poblet, director de la revista «Mundo Electrónico»

ISBN 84-7634-485-6 (Obra completa)
ISBN 84-7634-590-9 (Vol. 16)
D.L.: B. 11912-1986

Impreso y encuadernado por
Printer industria gráfica sa   Provenza, 388   08025 Barcelona
Sant Vicenç dels Horts   1986

Printed in Spain

Ecualizadores

INTRODUCCION

Hasta en los amplificadores de ínfima calidad es posible observar la existencia de uno o varios mandos para variar el *tono* del sonido. El ecualizador no es más que un corrector de tonos con grandes posibilidades.



Muestrario de ecualizadores gráficos para diferentes tipos de aplicación en pequeñas o grandes instalaciones acústicas.

La palabra ecualizar quiere decir «igualar», es decir, devolver al sonido su tono original haciendo su amplitud plana para todas las frecuencias. Se podría decir que se trata de conseguir que todos los instrumentos que intervienen en la formación del sonido se oigan igual. Aunque existe una gran variedad de ecualizadores, todos ellos persiguen el mismo objetivo: corregir, más o menos eficazmente, la curva de respuesta en frecuencia de una cadena de audio.

Es cierto que existen algunos audiófilos, detractores del ecualizador y de otros complementos, que afirman que el sonido es más «puro» cuanto menos dispositivos electrónicos atraviese; sin embargo, no hay duda de que una utilización racional de estos aparatos puede aportar grandes satisfacciones auditivas.

A lo largo de este libro vamos a ver los elementos que constituyen los ecualizadores: los filtros, sus tipos y su diseño. También repasaremos los distintos ecualizadores, sus aplicaciones y características, con algún ejemplo práctico de ecualizadores reales.

LOS FILTROS

Un ecualizador es, en un primer acercamiento, un

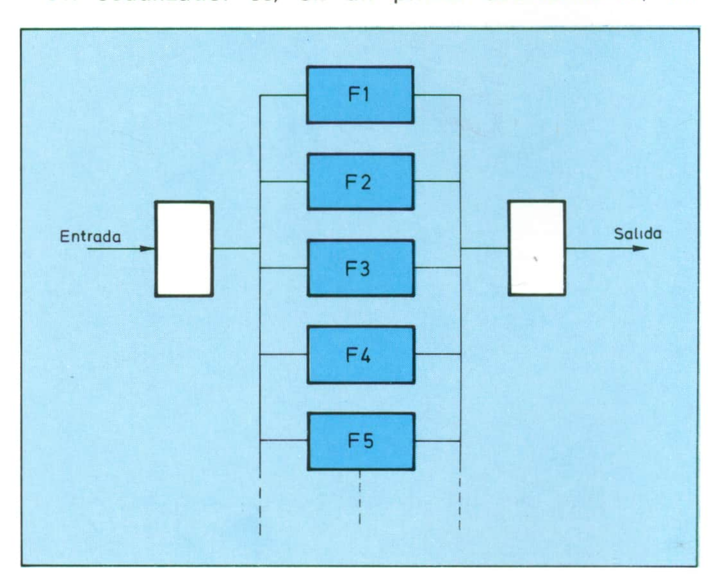


Figura 2. F_1, F_2, F_3,... son los bloques que forman un ecualizador. Todos ellos están intercalados entre la etapa de entrada y la de salida.

dispositivo electrónico que contiene una serie de bloques o circuitos independientes (tal como se aprecia en la figura 2) sobre los que se puede actuar, variando uno o varios parámetros, para conseguir una modificación de la curva de respuesta. Un ecualizador es, pues, un circuito que actúa alterando su propia función de transferencia para obtener la respuesta conveniente. Esto, que así explicado puede parecer algo confuso, es bastante sencillo si se entiende qué y cómo son estos «bloques» que llamaremos a partir de ahora *filtros*. Aunque no sea ésta la primera vez que el lector se encuentra con filtros, vamos a empezar de forma sencilla.

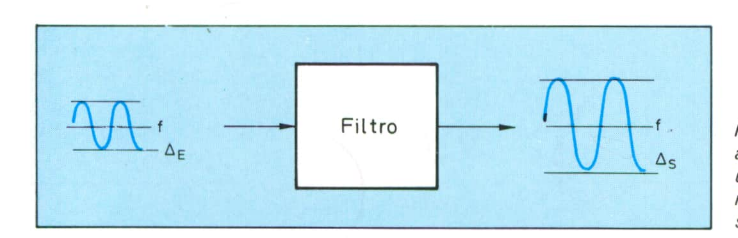


Figura 3. Un filtro actúa amplificando o atenuando una amplitud, aunque mantiene la frecuencia de señal de entrada.

Podemos pensar que un filtro es como una caja negra (figura 3) tal que si introducimos una señal de amplitud y frecuencia fija, obtenemos una señal de salida con la misma frecuencia y cuya amplitud podemos variar según el tipo de filtro. Supongamos un filtro imaginario en el que vamos introduciendo un barrido de frecuencias de 0 Hz a 100 kHz. En la salida se obtienen normalmente las frecuencias de entrada, excepto a partir de 20 kHz, en que se van atenuando progresivamente. ¿Qué es lo que ocurre? El filtro es de un tipo que, en teoría, no debe dejar pasar frecuencias superiores a 20 kHz, es decir, se trata de un filtro paso bajo con una frecuencia de corte de 20 kHz (ya veremos lo que esto significa exactamente).

El espectro de frecuencia

Ya sabemos que el sonido es un conjunto de ondas con diversas amplitudes y de distintas frecuencias. La representación espectral (figura 4) es la representación gráfica que observa el espectro de frecuencia o, lo que es lo mismo,

la representación del sonido en los ejes de amplitud y frecuencia. La curva de respuesta en frecuencia es, unidades y escalas aparte, muy similar a la representación espectral del sonido, pues también dispone de los mismos ejes.

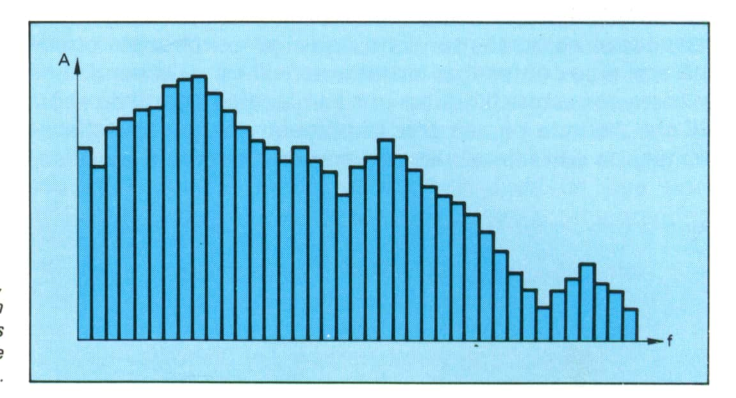


Figura 4. Los parámetros, aplitud y frecuencia, son los ejes de coordenadas del espectro de frecuencia.

La misión fundamental de un equipo de reproducción del sonido es, precisamente, reproducir el sonido de forma que resulte tan idéntico al original como sea posible. Sin embargo, como vimos en libros anteriores, la sala de audición podía influir negativamente, amplificando o atenuando algunas frecuencias concretas. Y también otros fenómenos podían atentar contra la perfecta reproducción musical: ruidos, estática, zumbidos, etc. Desgraciadamente, no siempre (casi nunca) es posible evitar estos inconvenientes, pues una sala acústicamente idónea puede resultar totalmente inhabitable.

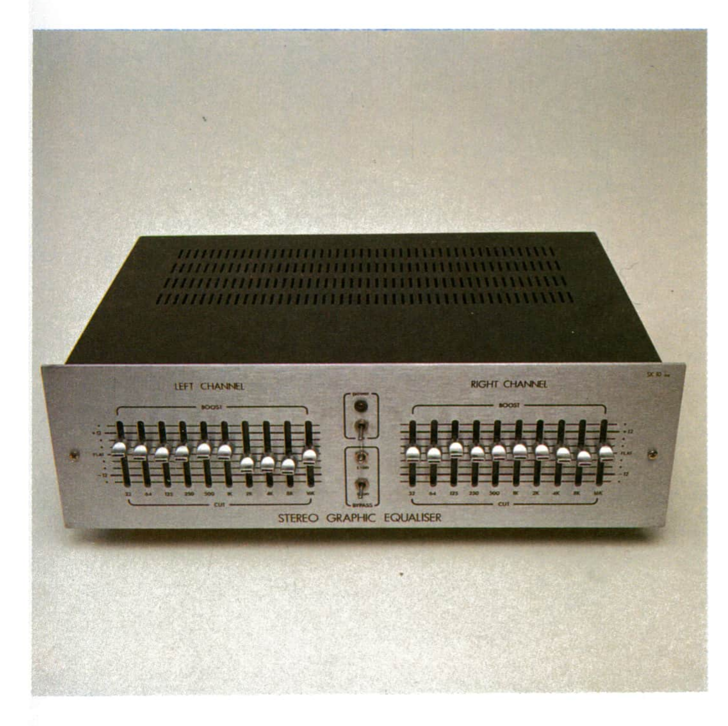
El ecualizador debe, principalmente, actuar sobre determinadas bandas de frecuencia a fin de amplificarlas o atenuarlas hasta que su amplitud sea la correcta. Esto es exactamente lo que realizan los filtros que componen cualquier ecualizador y actúan de diversas formas, según sea la frecuencia de la señal de entrada.

El filtro paso alto y paso bajo

El filtro paso alto, como indica su nombra, consiste en un circuito que actúa como eliminador de frecuencias inferiores

a una determinada *frecuencia de corte* o *de paso*. Aunque lo ideal sería que el filtro rechazara totalmente toda frecuencia que no superase a la de corte, esto no ocurre nunca en la realidad.

La función de transferencia que define a un filtro tiene una pendiente determinada, lo cual nos da una idea de la calidad del mismo. Esta pendiente se mide en dB/octava. Veamos lo que esto significa.



Ecualizador gráfico estereofónico, relativamente económico, con diez controles de frecuencia para cada uno de los canales.

Una octava es la «distancia» o diferencia que hay entre una determinada frecuencia y su doble; por ejemplo, entre 100 y 200 Hz o entre 500 Hz y 1 kHz. Así, en el filtro de la figura 7 tenemos un filtro paso alto de 20 dB/octava o, lo que es lo mismo, de primer orden (un filtro de segundo orden tendría una pendiente de 40 dB/octava y así sucesivamente), pues aumenta 20 dB de 100 a 200 Hz. Su frecuencia de corte sería 400 Hz aproximadamente.

Es precisamente esta pendiente lo que provoca que la frecuencia de corte se localice habitualmente a 3 dB por encima o por debajo (según sea el filtro) del nivel de «no atenuación».

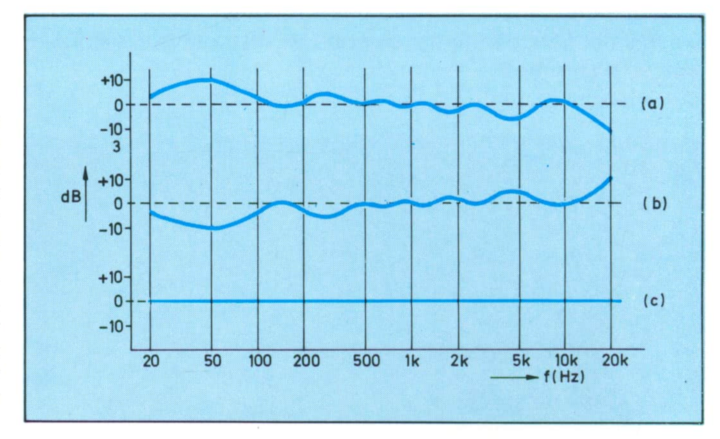


Figura 6. Ejemplo de corrección integral de la respuesta en frecuencia con la ayuda de un ecualizador. La respuesta característica a) se ecualiza aplicándole la rectificación del tipo señalado en b), compensando las variaciones iniciales. Con todo ello se pretende obtener una respuesta lineal c).

Tras esto no será difícil comprender el funcionamiento de un filtro paso bajo. Su función será exactamente la contraria al filtro paso alto: atenúa toda señal de frecuencia superior a la frecuencia de corte.

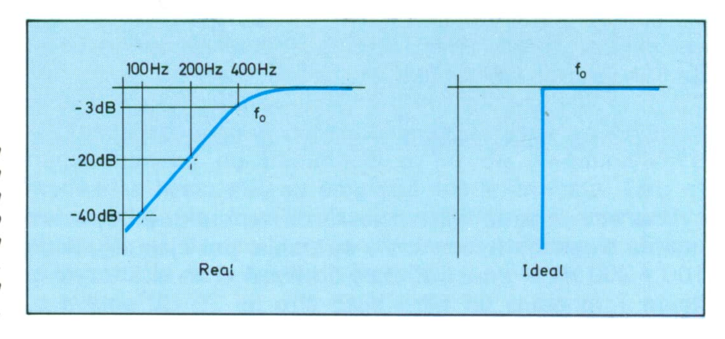


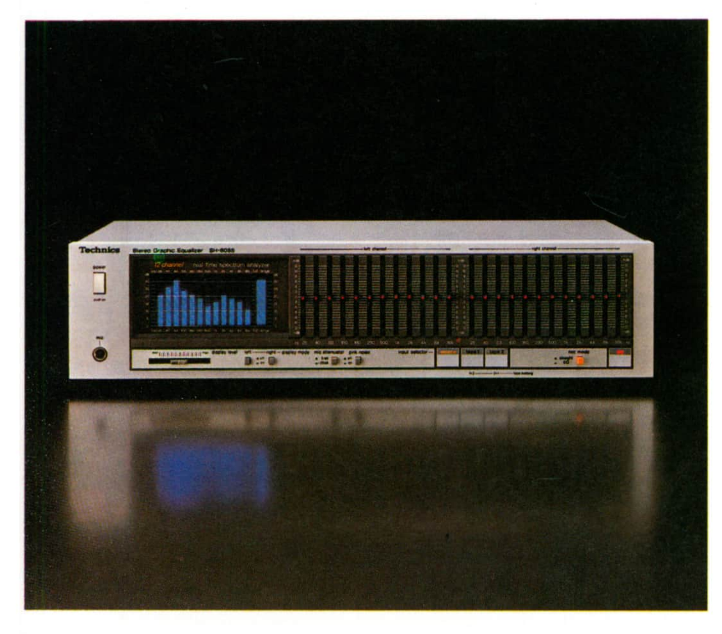
Figura 7. La diferencia entre un filtro real (en la figura de primer orden, a 20 dB/octava) y uno ideal, es considerable, ya que el corte no es vertical, sino que presenta una atenuación progresiva.

Estos dos filtros fundamentales se denominan también *cutt-off filters* o filtros de corte, pues actúan siempre en los

extremos de la banda audible. De la combinación adecuada de estos filtros básicos surgen los demás tipos.

El filtro rechazo banda y paso banda

El filtro rechazo banda se obtiene a partir de un paso alto y un paso bajo, y consiste en un filtro que rechaza toda frecuencia comprendida entre dos de corte (correspondientes, aproximadamente, a las de los filtros que lo componen).



Ecualizador gráfico estereofónico de Technics, con analizador del espectro sonoro mediante barras luminosas de color.

El filtro más importante para nosotros, pues es el elemento básico de un ecualizador, es el filtro paso banda. También se obtiene de un filtro paso alto y otro paso bajo, y es permeable sólo a las frecuencias comprendidas en el margen señalado por las frecuencias de corte de los filtros fundamentales.

Así, si el filtro paso bajo tiene una frecuencia de corte de 200 Hz y el filtro paso alto la tiene a 100 Hz, el paso banda rechazará todas las frecuencias inferiores a 100 y superiores a 200 Hz, pero no será con estas frecuencias con las que

trabajaremos al hablar de estos filtros, sino con la frecuencia central y con su ancho de banda.

Factor de calidad Q de un filtro

Intimamente ligado a la frecuencia central y al ancho de banda de un filtro, del que antes hablábamos, aparece el llamado factor de calidad o *Q* de un circuito. Como su nombre indica no es más que una medida de la calidad de un filtro, es decir, nos indica la bondad del mismo. Este factor de calidad es especialmente útil cuando se trata de filtros paso banda, pues su valor será mayor cuanto más estrecho sea el ancho de banda, tal como se muestra en la figura 9.

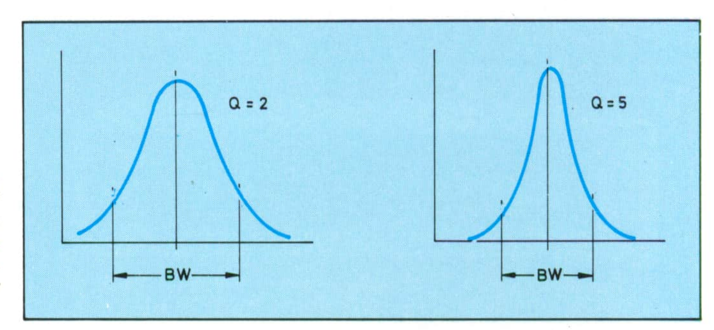


Figura 9. El factor de calidad (Q) influye en el ancho de banda de un filtro (BW). Como puede apreciarse, el ancho de banda disminuye al aumentar el valor de Q.

El factor de calidad deberá tenerse en cuenta durante el diseño de filtros, pues a mayor *Q* tendremos una mejor selectividad de las frecuencias de paso y podremos realizar una correcta separación de las frecuencias de audio.

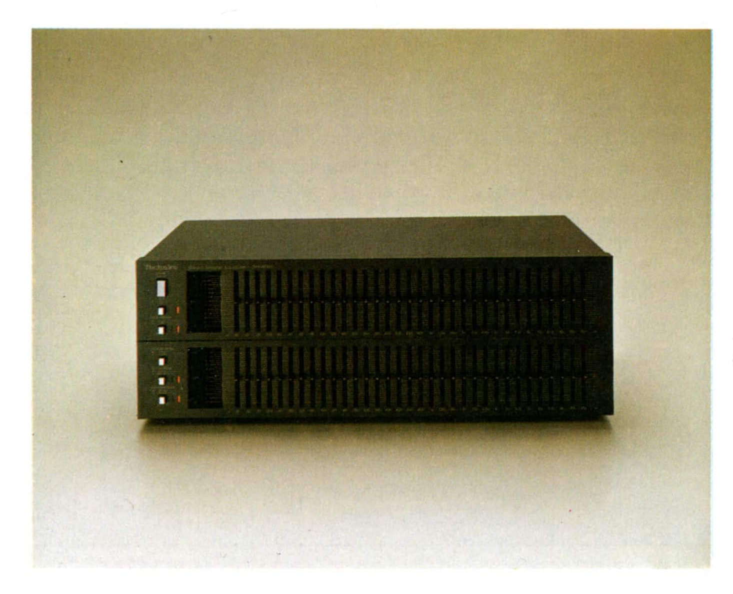
Antes de ver otros tipos de filtros, y para la mejor comprensión y estudio de los diversos tipos de ecualizadores, vamos a centrarnos en algunas de las diversas consideraciones físicas que se pueden dar en el diseño de filtros para Alta Fidelidad.

Filtros pasivos

A veces puede ser muy útil conocer los filtros básicos para cualquier aplicación concreta. La forma más sencilla de construir un filtro es mediante elementos pasivos, aunque

presenta también inconvenientes importantes que, prácticamente, descartan su utilización en hi-fi.

Los tres elementos pasivos fundamentales son la resistencia, el condensador y la bobina o inductancia, y son precisamente estos elementos los que se utilizan en el diseño de los más simples filtros, denominados pasivos por este motivo. Como conocimiento básico podemos señalar el siguiente hecho: mientras que la resistencia siempre deja pasar una corriente proporcional a la tensión e independiente de la frecuencia, los condensadores y las bobinas actúan distintamente.



El automóvil es un recinto apropiado para beneficiarse con las ventajas que puede ofrecer un ecualizador. Obviamente, las dimensiones del equipo deben ser proporcionadas al reducido espacio de que se dispone. (Cortesía: Technics).

Un condensador en corriente continua se asemeja a un circuito abierto que se va «cortocircuitando» al aumentar la frecuencia. Así, el paso de corriente aumenta proporcionalmente con la frecuencia. La bobina actúa de forma totalmente contraria, es como un cortocircuito para corriente continua mientras que se va «abriendo» cortando el paso de la corriente según aumenta la frecuencia de la señal de entrada. Aunque esto puede parecer algo extraño tiene una explicación: el condensador y la bobina actúan ante

variaciones de la tensión de entrada, de modo que es la frecuencia la que afecta más directamente a su funcionamiento. Todo esto lo podemos apreciar gráficamente en la figura 11.

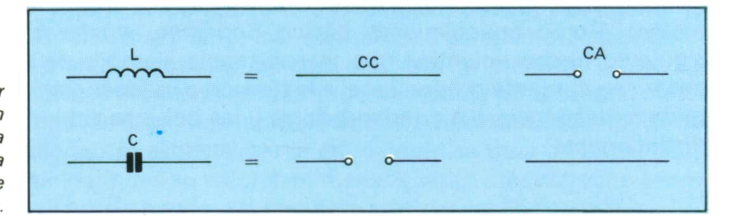


Figura 11. El condensador y la bobina actúan diferentemente según la frecuencia. Esto se utiliza para la realización de filtros pasivos.

Una vez conocida la función de los condensadores y bobinas (cuyo efecto depende, evidentemente, de su valor en faradios o henrios) podemos pasar al funcionamiento combinado de los elementos para obtener los resultados deseados.

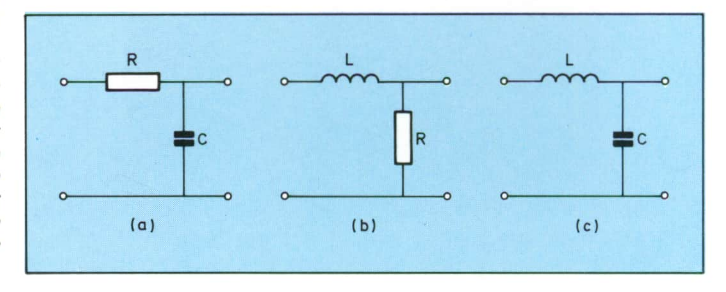


Figura 12. Tres modelos de filtros básicos de tipo paso bajo. a) Formado por un condensador en paralelo con la carga y una resistencia en serie; b) Una resistencia en paralelo, con una bobina en serie; c) Un condensador en paralelo, con una bobina en serie.

Como primer ejemplo, supongamos que queremos diseñar un filtro paso bajo con una frecuencia de corte de 1 kHz. Puesto que un filtro paso bajo tiene que dejar pasar las frecuencias inferiores a la de corte, recapacitando sobre lo dicho anteriormente tenemos que se puede resolver el problema de diversas formas: con una resistencia y un condensador, una resistencia y una bobina o con condensador y bobina, tal como se muestra en la figura 12. En el primer circuito tenemos que el condensador equivale a un circuito abierto a baja frecuencia, con lo que a la salida se

presenta la misma señal que en la entrada (o muy aproximada). En el circuito *b* la bobina es como un cortocircuito para frecuencias bajas, inferiores a la de corte. El circuito *c* es resultado del efecto combinado bobina/condensador, con lo que los resultados son todavía mejores. Conociendo la frecuencia de corte en función de los componentes se obtienen los valores de los componentes; en la figura 13 podemos ver los filtros más comunes.

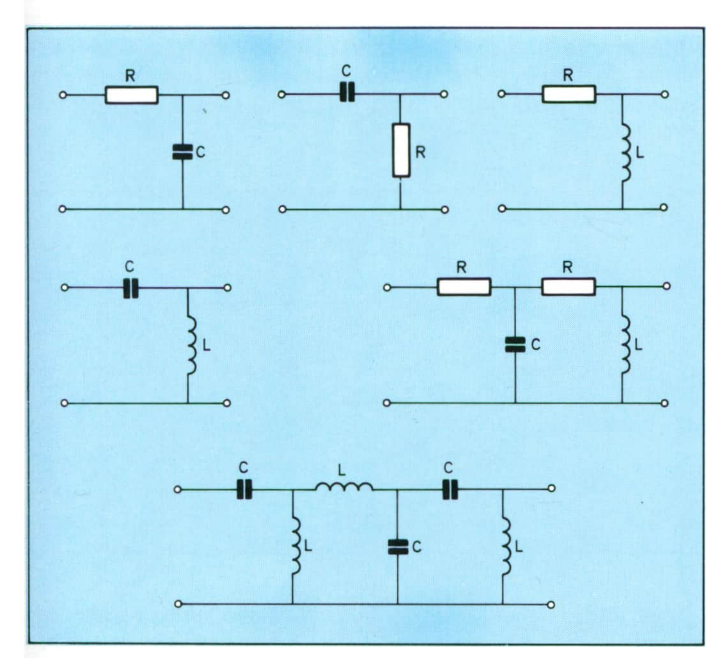


Figura 13. Algunos de los tipos de filtros pasivos más usuales en audiofrecuencia. Están formados por la combinación de resistencias, bobinas y condensadores.

Filtros activos

Aunque existen diversas formas de construir filtros, hacerlo para frecuencias de audio con componentes pasivos no deja de ser muy engorroso de diseño; emplea componentes muy voluminosos y la regulación de ganancia es difícil de conseguir. Es lógico, pues, rechazar los filtros pasivos en favor de los activos.

Los filtros activos pueden construirse muy fácilmente con

ayuda de los amplificadores operacionales (*Operational Amplifier,* OPAM). Este tipo de amplificadores es de uso general, encontrándose hoy día en el mercado gran variedad de ellos, siempre en forma de circuito integrado. Los OPAM tienen múltiples funciones; aquí nos interesará, sobre todo, su posible aplicación como filtro, aunque también lo veremos como adaptador de impedancias, inversor y sumador.

Para los más introducidos en el tema, diremos que la elección del tipo de filtro está basada en la necesidad de obtener una buena respuesta transitoria y en frecuencia. Los filtros de Chebyschev tienen una excelente respuesta de frecuencia, pero poseen una respuesta transitoria bastante inestable.

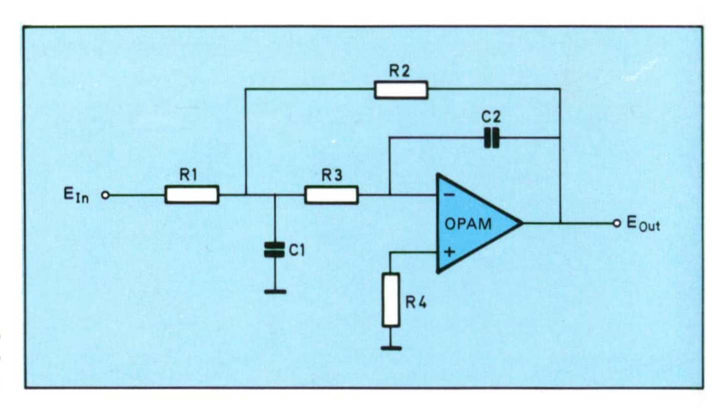


Figura 14. Filtro activo paso bajo formado por un amplificador operacional.

Los filtros de Bessel ofrecen unas buenísimas respuestas transitorias y de fase, pero en la región de cruce su respuesta en frecuencia es deficiente. Sin duda los filtros de Butterworth, cuyas características se encuentran entre las de Bessel y Chebyschev, son los que ofrecen el mejor compromiso para el diseño de filtros activos *cross-over.*

Lo que debe quedar claro es que queremos plantear las bases para el diseño de filtros activos Butterworth de los tres tipos básicos: paso bajo, paso alto y paso banda.

Filtro activo paso bajo

De entre las multiples configuraciones que existen

elegiremos una que se adapte a nuestras necesidades; su estructura es la de la figura 14. El amplificador operacional es atacado por la entrada inversora, lo que da mucha menor sensibilidad al filtro (su respuesta se ve menos afectada por cambios en la ganancia o en los valores de los componentes pasivos que integran el circuito). El OPAM debe ser de buenas características: muy bajo ruido, manteniendo una elevada ganancia.



En los estudios de grabación hay grandes mesas de mezcla, para controlar la respuesta de todos los micrófonos que se encuentran distribuidos estratégicamente por el local. Los ecualizadores, compensan en cada caso el comportamiento de cada uno de los instrumentos en sus frecuencias habituales de trabajo.

El filtro en sí, se trata de un filtro de segundo orden, cuya función de transferencia normalizada responde a la ecuación:

$$H(s) = \frac{K}{s^2 + 2E\omega s + \omega^2} = \frac{K}{s^2 + \frac{\omega}{Q} \cdot s + \omega^2}$$

Suponiendo C_1 conocido y $R_1 = R_2$ y $R_3 = 2R_1$, tenemos:

$$\omega^2 = \frac{2G_2^2}{C_1 C_2}$$

$$\frac{\omega}{Q} = \frac{4G_2}{C_1}$$

donde G_2 es la conductancia.
Y despejando obtenemos los valores del filtro:

$$R_1 = R_2 \quad ; \quad R_1 = \frac{4Q}{\omega C_1}$$

$$R_3 = \frac{R_2}{2} \quad ; \quad C_2 = \frac{C_1}{8Q^2}$$

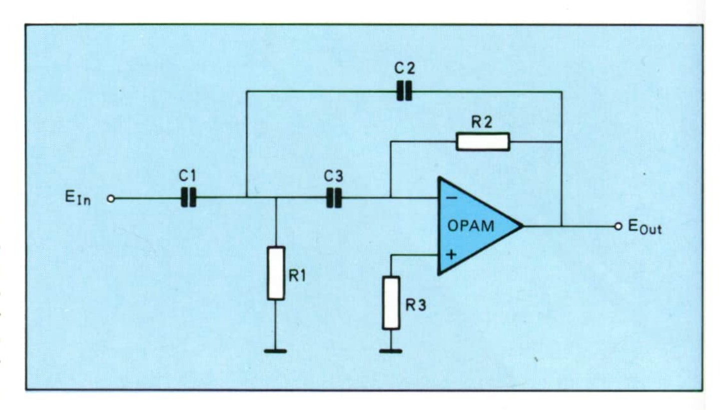


Figura 16. Filtro activo paso alto. Los circuitos operacionales pueden trabajar con eficacia en las etapas de filtrado; únicamente es necesario retocar los valores de las redes RC externas.

Para determinar R_4 debemos tener en cuenta las condiciones de polarización del operacional: $R_4 = f(R_1, R_3, Vcc)$, donde Vcc representa la tensión de alimentación del operacional. Esta expresión será diferente para cada OPAM y el fabricante nos proporcionará la información necesaria para calcularlo (su valor varía usualmente entre 1 y 100 kΩ).

Recordemos que en nuestro filtro Q vale 0,707 y que $\omega = 2\pi f$, donde f es la frecuencia de corte.

Filtro activo paso alto

Su estructura es la de la figura 16. Como en el caso anterior el operacional se utiliza en modo inversor. Al igual que antes, podemos escribir.

$$H(s) = \frac{Ks^2}{s^2 + 2E\omega s + \omega^2} = \frac{Ks^2}{s^2 + \frac{\omega}{Q} \cdot s + \omega^2}$$

que es la función normalizada de un filtro paso alto de segundo orden. Suponiendo R_3 dado y $C_1 = C_2 = C_3$ obtenemos los siguientes valores:

$$C_1 = \frac{3Q}{\omega R_2} \quad ; \quad C_2 = C_3 = C_1$$

$$R_1 = \frac{1}{R_2 (C_1 \omega)^2}$$

donde ω es $2\pi f$ (f es la frecuencia de corte) y R_2 lo determinamos mediante consideraciones de polarización de operacional, pues al igual que en el caso anterior tenemos $R_2 = f(R_3, Vcc)$.

OTROS FILTROS

Filtro de banda estrecha

Este tipo de filtro actúa siempre atenuando un margen muy estrecho de frecuencias. Se utiliza principalmente para suprimir alguna perturbación que se produzca en un punto determinado de frecuencia. Una aplicación bastante frecuente de este filtro es la destinada a eliminar el zumbido característico de la red en 50 Hz, sin modificar el resto de frecuencias, ni por encima ni por debajo de este punto. También se denomina *notch filter.*

Filtro subsónico

Es éste un tipo muy especial de filtro paso alto. Sólo

atenúa frecuencias de orden inferior a las que puede percibir el oído humano que, sin embargo, pueden causar problemas o efectos indeseables en los equipos de registro y reproducción. Se utilizará este tipo de filtro, por ejemplo, para eliminar frecuencias de 2 a 15 Hz que pudieran alcanzar el punto de resonancia del brazo fonocaptor.

Filtros de preénfasis y deénfasis

Estos filtros, que ya vimos en el libro dedicado a sintonizadores, no tienen una gran aplicación en hi-fi pero, debido a su función atenuadora/reforzadora, son de funcionamiento y diseño muy similar a los vistos hasta ahora. Se trata de un filtro paso alto y otro paso bajo con la misma frecuencia de corte y con la misma pendiente (6 dB/octava, típicamente).

LOS ECUALIZADORES

Las ondas sonoras son fenómenos de variación de presión. El aire de la estancia donde se escucha una pieza musical resulta comprimido por los movimientos de las membranas de los altavoces. Tales presiones son comunicadas por unas moléculas de aire a otras, produciéndose la onda sonora en sí.

En un espacio libre, en el que no existiera obstáculo alguno entre el altavoz y nuestros oídos, el sonido llegaría hasta ellos tal y como hubiera sido emitido por aquél. En un espacio cerrado las cosas son muy distintas, puesto que las moléculas de aire en movimiento chocan contra objetos, paredes, etc.

Cada uno de estos choques modifica la onda sonora al menos en dos parámetros: su dirección y su intensidad. Su dirección es variable debido a que las superficies actúan como lo hace un espejo para la luz visible. Parte de la energía con la que llega la onda se pierde en esa «reflexión» sonora, de tal forma que su intensidad es menor que antes del choque.

La cantidad de energía absorbida por el objeto con el que choca la onda sonora depende de su naturaleza. Así, mientras que el cristal devuelve más del 95 % de la energía incidente, determinados materiales como el corcho, la fibra

de vidrio y algunos otros derivados plásticos son capaces de retener, en determinadas condiciones, hasta el 80 y 90 % de la energía sonora que les llega.

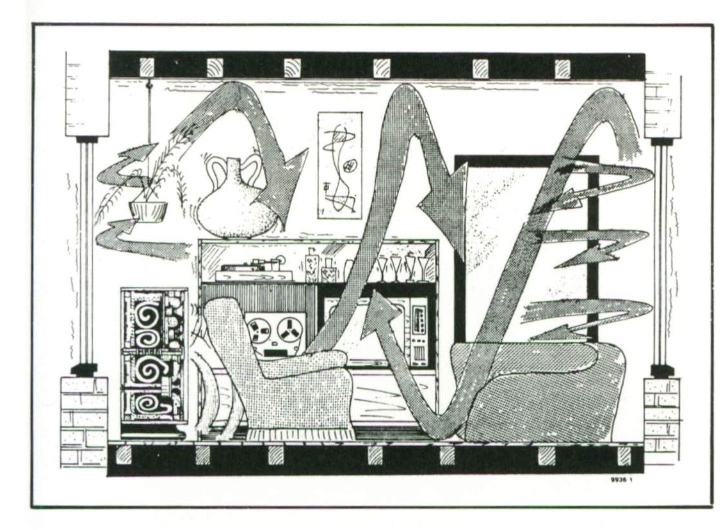


Figura 17. La sala de audición es un elemento fundamental en la escucha correcta de cualquier equipo o sistema de alta fidelidad. De ahí la importancia de estudiar sus dimensiones, materiales utilizados en las paredes, y la distribución de las cajas acústicas.

El conjunto de condicionantes que se presentan en un determinado local respecto a la propagación de las ondas sonoras, suele conocerse como acústica propia del local. Es fácil comprender que será tremendamente difícil encontrar dos locales con la acústica propia idéntica, por lo que si el mismo sistema de sonido se escucha en esos dos locales, la sensación auditiva no será la misma, «sonará» distinto en uno y en otro puesto que las ondas se verán modificadas (figura 17).

Parece evidente que sólo debe existir una única forma de que el equipo «suene» bien, será aquella en la que se conserven más fielmente los sonidos originales.

La modificación que las ondas sonoras experimentan en su viaje por el local de audición se suele traducir en una respuesta desigual en amplitud, esto es, dos frecuencias distintas que fueron originalmente transmitidas con una cierta amplitud cada una, llegarán hasta nuestros oídos con amplitudes relativamente distintas de aquellas. Por estos motivos son necesarios todos los controles y mandos que actúan sobre la respuesta en frecuencia de los amplificadores: filtros, reguladores de tonalidad, etc. Con ellos, entre otras

cosas, lo que se intenta es deformar la señal de audio que emitirán los altavoces para que el sonido que capten nuestros oídos sea lo más parecido a lo que originalmente se grabó o transmitió por radio.

La gran mayoría de equipos de hi-fi actuales incorporan dos controles de tonalidad, uno para graves y otro para agudos. En algunos casos se incorpora un tercer control, que regula la amplitud relativa de los sonidos de frecuencias medias respecto a los del resto de la banda audible. En equipos portátiles o de calidad baja o mediana, se incluye un solo control de tonalidad, que lo único que hace es limitar la respuesta del sistema a altas frecuencias (agudos).

Recordando muy por encima el funcionamiento de estos controles fijémonos, por ejemplo, en uno de graves. El mando actúa sobre un potenciómetro, que gobierna la respuesta de una red formada por elementos pasivos (similar a los filtros pasivos que vimos anteriormente). Según la posición ocupada por el cursor de dicho potenciómetro, la red atenúa en mayor o menor grado todas las señales de frecuencia inferior a una de referencia llamada frecuencia de corte. Para una posición determinada del potenciómetro la actuación es mayor cuanto más baja es la frecuencia de la señal, o bien la amplificación es mayor (en el caso de posición en «realce»).

Por lo general, las acústicas propias de las salas usuales suelen introducir pérdidas o ganancias progresivas con la frecuencia, tanto en el extremo de los graves como en el extremo superior de altas frecuencias (de ahí la posición característica de los ecualizadores gráficos), de forma que en promedio los controles de tono son suficientemente eficaces.

Sin embargo, parece evidente que esta forma de control no es sino una mera aproximación, una manera de hacer que las desviaciones absolutas entre lo que debe ser y lo que realmente se obtiene sean menores; en definitiva, se trata de que el error medio disminuya, pero sin resolver el problema de que, a determinados valores de frecuencia, las diferencias sigan siendo grandes.

Idealmente, la adaptación perfecta entre el equipo y el local de audición sólo se podría tener si dispusiéramos de la posibilidad de poder gobernar el nivel de las señales para cada valor concreto de frecuencia. Esto es prácticamente inviable, pues habría que disponer de infinitos mandos.

El problema se simplificaría en gran manera si pensamos que el oído humano no responde linealmente con la frecuencia, sino que lo hace logarítmicamente; esto es, el paso de 100 a 150 Hz (50 Hz de diferencia) le parece idéntico al que existe entre 1.000 y 1.500 Hz (500 Hz de diferencia). Es por esta razón que el teclado de un piano está simbólicamente dividido en octavas, en las que la frecuencia de la primera nota de una de ellas es el doble que la de la primera nota de la octava anterior.



Cadena de alta fidelidad, en la que se observa el ecualizador gráfico EQ 20, con diez frecuencias de actuación para cada uno de los canales de la salida estereofónica. (Cortesía: Nikko).

Aún así, el problema seguiría sin una salida práctica razonable, por lo que debemos reducir gradualmente nuestras pretensiones y aceptar que las posibilidades de actuación lo sean sobre bandas de frecuencia, más bien que sobre valores concretos. De cualquier forma, la experiencia

práctica también juega un papel importante, y gran cantidad de pruebas han venido a demostrar que si la banda bajo control es de media octava, la regulación conseguida es muy buena; si es de una octava, el control conseguido es bueno; con dos octavas se obtiene una actuación suficiente, y así se puede ir disminuyendo hasta grados de regulación peores (figura 19).



Figura 19. Los ecualizadores de tercio de octava son, sin duda, los más perfectos de entre los denominados «gráficos». Su regulación y ajuste es excesivamente complicado, sin aparatos de medida especialmente adecuados.

Hemos llegado así a la razón de ser de los llamados ecualizadores (palabra con raíz latina que equivale a igualadores), cuya misión es la de igualar o ecualizar la respuesta del sistema de hi-fi con la de la sala de audición para que la escucha se vea exenta de diferencias apreciables entre lo ideal y lo real. En realidad, los controles de tono que antes citábamos no dejan de ser ecualizadores, aunque con un margen de regulación muy pobre pues cada uno de los mandos tiene asignada una banda de frecuencias del orden de cuatro octavas, aproximadamente.

En resumen, el ecualizador nos va a ser sumamente útil en sistemas de audio ubicados en salas de especial sonorización, salas reverberantes, salas mal acondicionadas y, muy importante, también en el automóvil.

Una vez conocidos algunos filtros que pueden conformar un ecualizador, vamos a seguir los pasos lógicos que se

dieron para llegar a los modernos ecualizadores, viendo en orden cronológico los diversos tipos para después conocer los diseños más comunes y significativos de estos aparatos.

Ecualizadores para alta y baja frecuencia

Estos ecualizadores, los primeros que pueden recibir este calificativo, aparecieron al querer modificar las frecuencias más audibles (graves y agudas, recordemos los controles de tono) y consisten en un solo filtro (paso alto o paso bajo) que actúa en los extremos de la banda audible. Esos controles de *bass* y *treble* son todavía disponibles en la mayoría de amplificadores actuales (excepto en los que incorporan un ecualizador más completo). El punto sobre el que se consigue el mayor refuerzo/atenuación es sobre el que se expresa, generalmente, la función del ecualizador, las frecuencias normales de actuación pueden ser: 50 a 100 Hz para el extremo inferior y de 10 a 15 kHz para el superior.



Sala de control de un estudio de grabación. En primer plano se pueden observar las mesas de control, con abundancia de controles de volumen y tono. Los circuitos ecualizadores, constituyen una parte importante de este tipo de mesas. (Cortesía: Gema).

Ecualizadores gráficos

El paso de un solo filtro (con un solo mando) a un ecualizador completo (con varios mandos, uno para cada

frecuencia de actuación) se dio colocando una serie de filtros paso banda en paralelo, de forma que el sonido se dividía en varias bandas, cada una de las cuales se podía regular independientemente de las otras. El punto de trabajo de estos filtros era fijo y se podía actuar sobre la amplitud de cada banda. Así nació el ecualizador gráfico, que recibe este nombre por la facilidad para visualizar la acción del ecualizador sobre el panel frontal, según la posición de los mandos (potenciómetros lineales sobre los que puede leerse directamente la amplificación/atenuación).

Este ecualizador, sin duda el de más difusión, puede presentar diversos aspectos y se pueden encontrar desde ecualizadores con cinco controles, hasta 33 o más mandos. El más típico es el ecualizador de octava en el que encontramos 10 puntos de control. Recordemos que el ancho de banda audible recorre 10 octavas: 30, 60, 125, 250, 500 Hz, 1, 2, 4, 8 y 16 kHz, y estas son las frecuencias de actuación del ecualizador.

Figura 21. Frecuencias de actuación y controles que requieren los filtros de un tercio de octava, una y dos octavas.

Tipo	*N.º controles*	*Frecuencias actuación*
Tercio octava	33	10, 20, 25, 31,5, 40, 50, 63, 80,.... ... 6,3 K, 8 K, 10 K, 12,5 K, 16 K, 20 K, 25 K
Octava	10	30, 60, 125, 250, 500, 1 K, 2 K, 4 K, 8 K, y 16 K
Dos octavas	5	60, 250, 1 K, 4 K, 16 K

En la figura 21 podemos apreciar la correspondencia entre el tipo de ecualizador, el número de controles y las frecuencias de actuación.

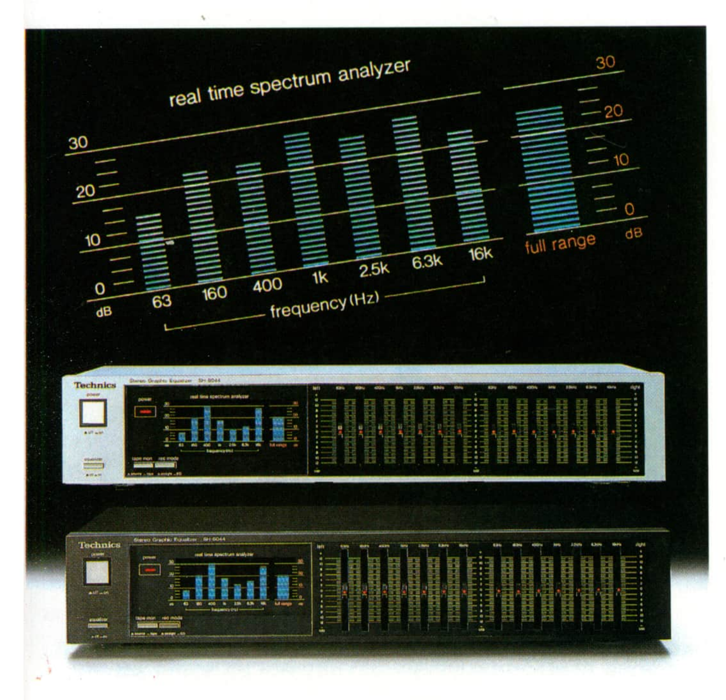
En general los ecualizadores gráficos permiten reforzar/atenuar la señal en unos −12 ó −15 dB (según modelo), pero siempre sobre la misma frecuencia de trabajo.

Puesto que los ecualizadores de tercio de octava son utilizados, por lo general, para corregir acústicas de salas y su ajuste debe realizarse con medios especiales (micrófono patrón, ruido rosa, analizador de espectros, etc.), su utilización puede acarrear grandes problemas al simple aficionado, debido a la actuación de filtros con frecuencias centrales muy próximas.

Los ecualizadores de una octava sirven para corregir la respuesta en frecuencia con mayor facilidad que los anteriores, sin necesidad de equipo especializado; de ahí su aplicación en sistemas convencionales de hi-fi.

Ecualizadores seleccionables

El ecualizador gráfico tenía su punto de trabajo prefijado por el diseñador del circuito, pero en algunos casos, sobre todo en el campo profesional, puede ser necesario tener una frecuencia central variable. Por ello nacieron los primeros



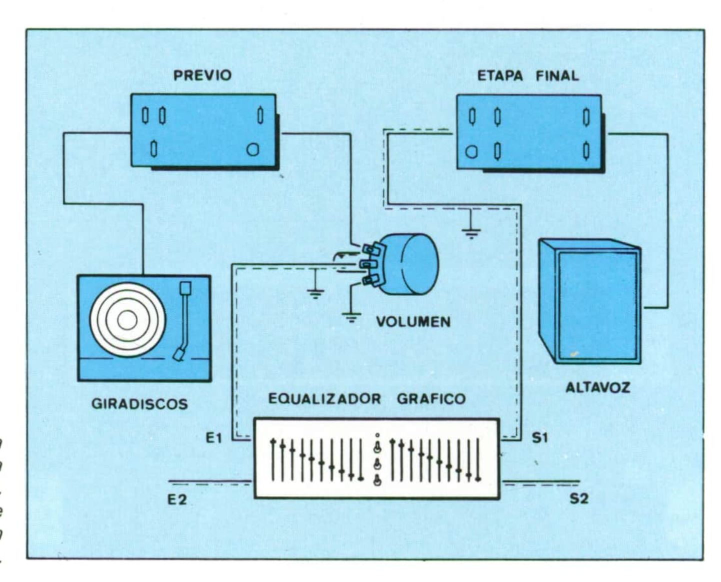
Analizador de espectro aplicado a la respuesta de un ecualizador gráfico. Este dispositivo, puede representar la ganancia a diferentes frecuencias establecidas a modo de control, o bien la respuesta única de toda la gama sonora reproducida. (Cortesía: Technics).

ecualizadores seleccionables, en los que la frecuencia central puede escogerse entre varias. Así se pueden encontrar filtros paso alto que actúan a 30, 60 ó 125 Hz o paso bajo que pueden hacerlo indistintamente a 10, 12 ó 16 kHz.

Ecualizadores paramétricos

Después de actuar sobre la frecuencia central, sólo nos resta poder variar el factor de calidad *Q* de un filtro del ecualizador para poder controlar los tres parámetros fundamentales: ancho de banda, frecuencia central de actuación y amplitud de la señal. Esto es, exactamente, lo que hace un ecualizador paramétrico.

Aunque hasta el momento los ecualizadores más difundidos son los gráficos, cada día irrumpen con más fuerza los paramétricos. Ante este hecho puede aparecer una seria duda: ¿Cuál será mejor para mi sistema, el ecualizador paramétrico o el gráfico?, ¿Cuáles son las ventajas y los inconvenientes de cada uno?



El ecualizador se intercala entre el previo y la etapa final del amplificador, como puede observarse en esta representación esquematizada.

No se pueden descalificar de un plumazo los ecualizadores gráficos porque su único parámetro variable sea la ganancia de los filtros, pues tienen la ventaja indudable de su simplicidad y bajo coste. Además, los medios necesarios para su ajuste son relativamente sencillos. Pero aunque un ecualizador de tercio de octava llega a agrupar 33 unidades

de filtrado para cubrir la totalidad del espectro de frecuencia audible, resulta difícil conseguir una corrección tan perfecta como la que ofrecen los filtros paramétricos (aunque sólo sean tres).

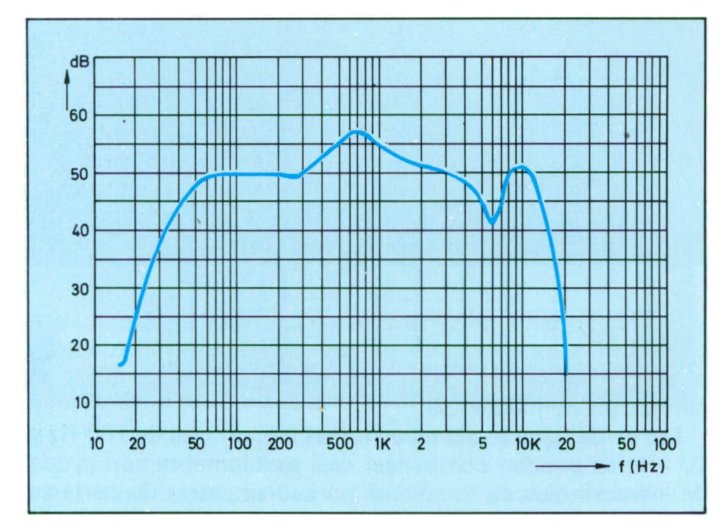


Figura 24. Respuesta de un filtro, medida en dB, para la gama audible de frecuencias, comprendida entre 20 y 20.000 Hz.

A continuación, y como aclaración a lo anterior, se expondrá un ejemplo concreto y real. En la figura 24 se aprecia la respuesta en frecuencia de una instalación hi-fi cualquiera, podría ser muy bien la suya. Eliminando los posibles valles y crestas inaudibles, aparecen las posibles zonas de actuación de un ecualizador: por debajo de 100 Hz, una cresta en 700 Hz, un valle en 6 kHz y de 10 a 20 kHz.

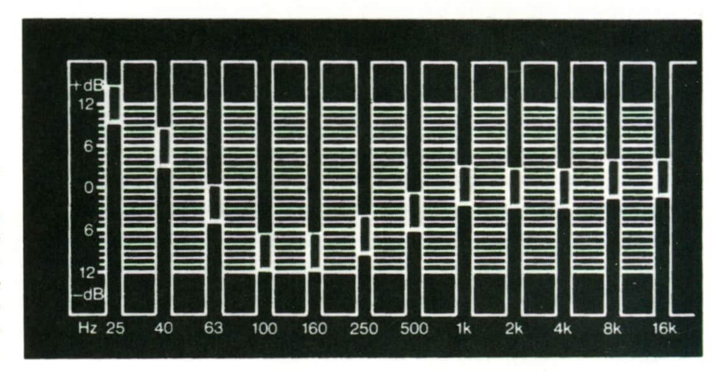
Aunque utilicemos un ecualizador de tercio de octava, la respuesta que consigamos, puesto que la respuesta en frecuencia es el resultado de componer la salida de diferentes filtros en los que raramente coincide la pendiente de amplificación (o atenuación) con la de caída (o subida) de la curva de respuesta, nunca llegará a ser la ideal.

En cuanto a las deformaciones, sería un hecho totalmente casual que algunos de estos puntos coincidieran con la frecuencia central (no ajustable) de un filtro del ecualizador, con lo que, en el mejor de los casos, sería inevitable que la respuesta final tuviera un aspecto ligeramente ondulado.

Respuesta en frecuencia de un amplificador, sin que se hayan efectuado las correcciones oportunas a las diferentes frecuencias. La ganancia es mayor a las frecuencias centrales que a las de los extremos.

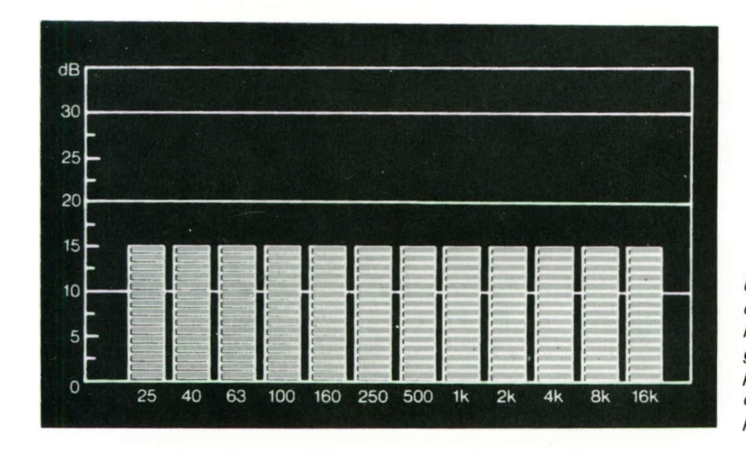
Por el contrario, un ecualizador paramétrico, dotado de un control de tonalidad también paramétrico (tipo Baxandall), presenta claras ventajas desde el punto de vista de la corrección de frecuencia.

Las caídas que se observan en las frecuencias de 100 Hz y 10 kHz se pueden compensar casi exactamente con ayuda de los controles de tonalidad (cuya frecuencia de corte es ajustable). La cresta de 700 Hz puede eliminarse sintonizando uno de los filtros paramétricos a su misma frecuencia, adaptando la anchura de banda del filtro a la que presenta la irregularidad y ajustando la atenuación. Es decir, estamos creando en este punto una curva de respuesta igual a la que se presenta, pero invertida para anularla. Con la depresión



Los potenciómetros de control de un ecualizador, se ajustan de modo que las frecuencias más bajas tengan mayor ganancia que las altas, y las medias para que puedan compensar la respuesta del amplificador.

que hay en 6 kHz se realiza una operación semejante, pero rebajando el factor de calidad Q para lograr, a la vez, reducir la ligera pendiente que hay entre 1 kHz y 5 kHz.



Una ecualización efectiva, da como resultado que a la salida del ecualizador la ganancia sea la misma para cada frecuencia; es la conocida como «respuesta plana».

Así, para conseguir una corrección adecuada de valles y crestas es necesario que todos los parámetros del filtro sean ajustables (frecuencia central, ganancia y factor Q) a lo largo de todo el espectro, lo que exige un filtro paramétrico.

Sin embargo, no queremos ni podemos ocultar que los ecualizadores paramétricos pueden introducir otros problemas en el sistema, además de su coste superior, como son ruido, distorsión, etc., a veces de valor superior a los de algunos ecualizadores gráficos.

ALGUNOS CIRCUITOS ECUALIZADORES

Hay que señalar que cuanto más selectivo es un filtro, más desfasa las señales que le son aplicadas. Por otra parte, el desfase introducido varía en función de la frecuencia. La teoría de Fourier nos enseña que toda señal periódica puede ser descompuesta en una suma de señales sinusoidales afectadas por amplitudes, frecuencias y fases correctas. Si estas señales están desfasadas diferentemente, la señal compuesta no puede ser reproducida con exactitud. Las

diferencias debidas a este fenómeno se conocen como distorsiones de fase.

Por otro lado, el recorte del espectro de baja frecuencia en zonas bien delimitadas por filtros abruptos exige una gran precisión en los valores de los componentes, de lo contrario los desfases introducidos en las frecuencias de corte pueden aportar «agujeros» indeseables a la curva de respuesta global. La utilización de filtros poco selectivos elimina en gran parte estos inconvenientes. A cambio, naturalmente, la acción de los filtros será inferior. Estamos hablando de un ecualizador con componentes pasivos. Un ecualizador así

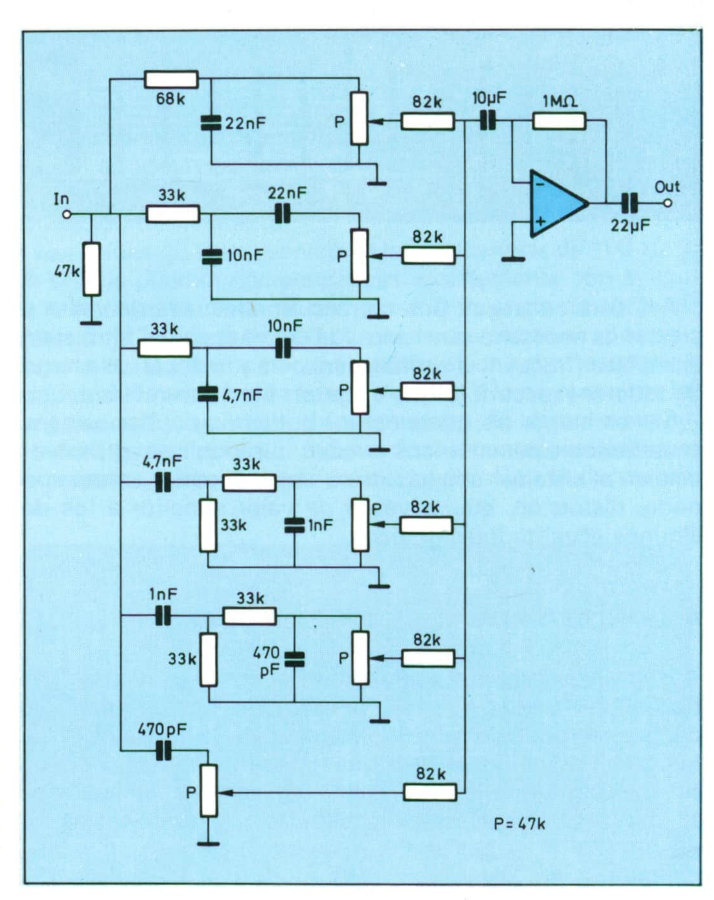


Figura 28. Esquema de un ecualizador de seis vías, con componentes pasivos (resistencias y condensadores). El amplificador de salida es común a todo el conjunto.

no podrá eliminar una frecuencia determinada, sino sólo retocar la curva de respuesta en ciertas zonas donde se imponen las correcciones. Sólo la utilización para trucajes, efectos especiales o restauración de grabaciones defectuosas, podría fijar los límites de este aparato. El esquema de la figura 28 es el de un sólo canal. El papel del OPAM es totalmente pasivo, limitándose a restaurar la señal a su anterior nivel por las pérdidas en los filtros pasivos.



Ecualizador gráfico de diez gamas de frecuencia, que cubren las frecuencias audibles; también incluye un analizador de espectro en tiempo real. (Cortesía: JVC).

El lector puede observar que hemos utilizado seis vías: muy grave, grave, medio/bajo, medio/alto, agudo y muy agudo. Las frecuencias de corte de los 10 filtros se han calculado de forma que se obtenga el mejor resultado posible con componentes de valores comerciales.

Principios básicos de diseño

Hemos visto un circuito en el que podemos analizar el funcionamiento de los filtros y su actuación como ecualizador. Pero ante un diseño real y más profesional deben tenerse en cuenta algunos detalles. En primer lugar, y debido a la limitación de espacio, vamos a ceñirnos al diseño de un ecualizador gráfico por ser éste el más común y el más sencillo. Volvemos a aquellos filtros activos que antes vimos Pero, si el lector recuerda, no vimos los filtros activos paso banda, dejando a la imaginación su realización. Ahora los veremos con más detalle que ningún otro por ser básicos en la constitución del ecualizador.

Llega el momento de plantearnos las características que exigiremos a nuestro aparato. Tenemos que decidir cuántos cortes tendrá, en qué frecuencias, qué factor de calidad, etc.

Para ilustrar mejor todo lo que hemos dicho hasta ahora, nada mejor que realizar el diseño completo de un ecualizador gráfico.

Diseño de un ecualizador gráfico

Una de las formas más sencillas de organizar internamente las misiones encomendadas a un ecualizador es disponer varios filtros paso banda en paralelo entre sí. El diagrama de bloques inicial es el mostrado en la figura 30.

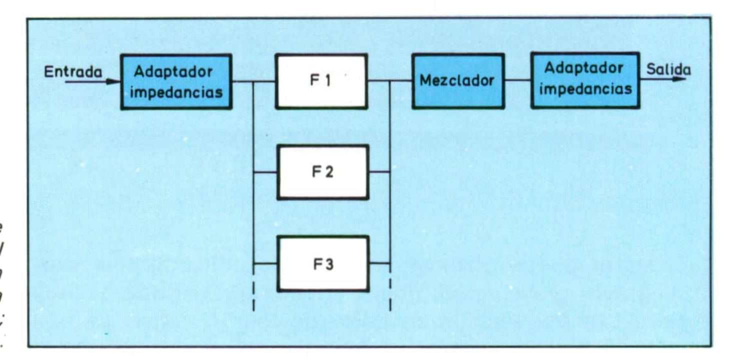


Figura 30. Actuación de los filtros dentro del circuito. Aquí están intercalados antes de la etapa mezcladora; se trata de F_1, F_2, F_3...

De nuevo, eligiendo adecuadamente la red de realimentación de los OPAM, podemos conseguir un circuito que rechace todas las señales que caigan fuera de la banda de frecuencias predeterminada. Ya tenemos así delineada la arquitectura interna del ecualizador, sólo hay que decidir qué ancho de banda queremos que tenga cada uno de los filtros, lo que nos dará a su vez el número de ellos a emplear. Dado que el margen de frecuencia total a cubrir es el de audio, que es fijo (20 – 20.000 Hz), un número de seis filtros puede ser una cifra razonable.

Estos filtros deben diseñarse de forma que los márgenes de trabajo de cada uno de ellos se solapen para no dejar «huecos» que no puedan ser controlados.

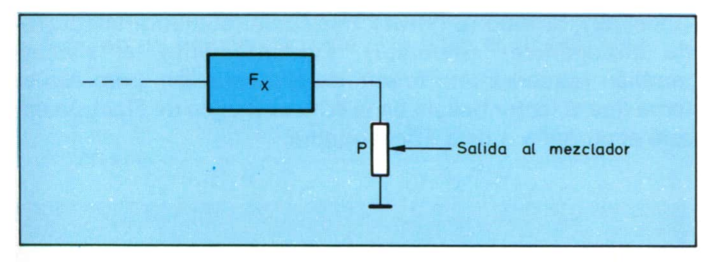


Figura 31. El potenciómetro de salida del filtro, permite obtener la fracción de la señal que se precisa.

¿Cómo se puede actuar sobre la amplificación o dosificación de la señal de cada uno de los filtros? De una forma muy sencilla. Cada salida se lleva a un potenciómetro, a través de cuyo cursor se extrae una parte de dicha señal. La mezcla de las señales obtenidas de todos los cursores contendrá todo el espectro de audio, de manera que el nivel de señal dentro de cada octava es regulable a voluntad e independientemente (figura 31).

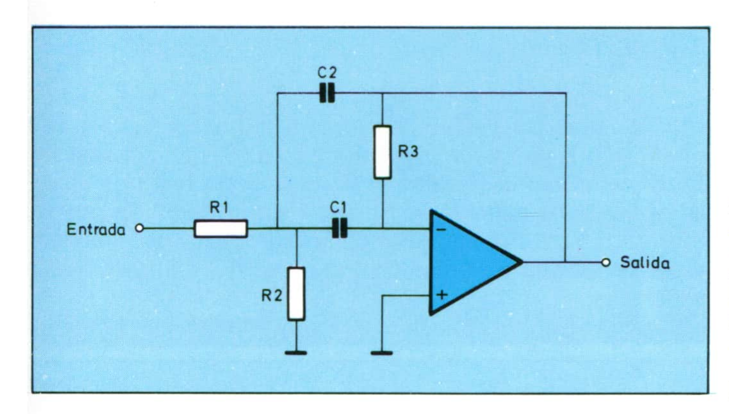
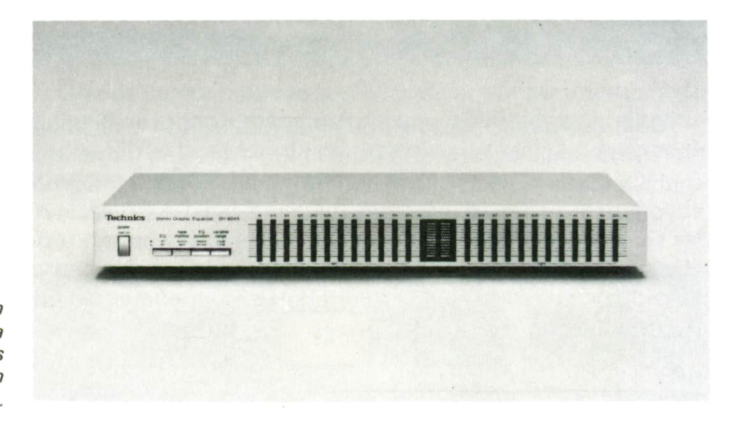


Figura 32. Circuito adaptador de impedancias que utiliza un amplificador operacional. Este proceso exige dimensionar adecuadamente los valores de las resistencias y de los condensadores.

El conjunto debe dotarse de algún otro circuito indispensable para su correcto funcionamiento. Así, se debe añadir una etapa de entrada que actúe como separadora entre la fuente de señal conectada al ecualizador y los filtros entre sí. Igualmente debe disponerse una etapa separadora de salida, que puede realizar al mismo tiempo las funciones de mezcladora y de adaptador de impedancias. Las etapas de nuestro ecualizador serán, pues: adaptador de impedancias

(inversor), filtrado (6 filtros), mezclador/sumador/adaptador de impedancias (inversor). Evidentemente, el sistema también requerirá una fuente de alimentación, pero eso es tema que el lector hallará en el «Curso Básico de Electrónica» que acompaña a esta Enciclopedia.



El hecho de que un amplificador posea una línea estilizada, no es óbice para que incluya un control de ecualización.

El primer circuito es el adaptador de impedancias, que será un inversor debido a que la salida es más sencilla de realizar. El esquema del circuito es el de la figura 32. Su ganancia es el cociente entre R_2 y R_1 (con signo negativo por ser inversor). Este circuito sirve como adaptador de impedancias a la vez que permitiría un control sobre la amplitud de la señal total.

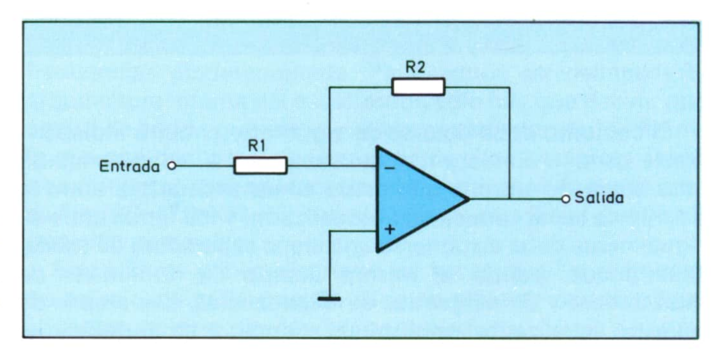


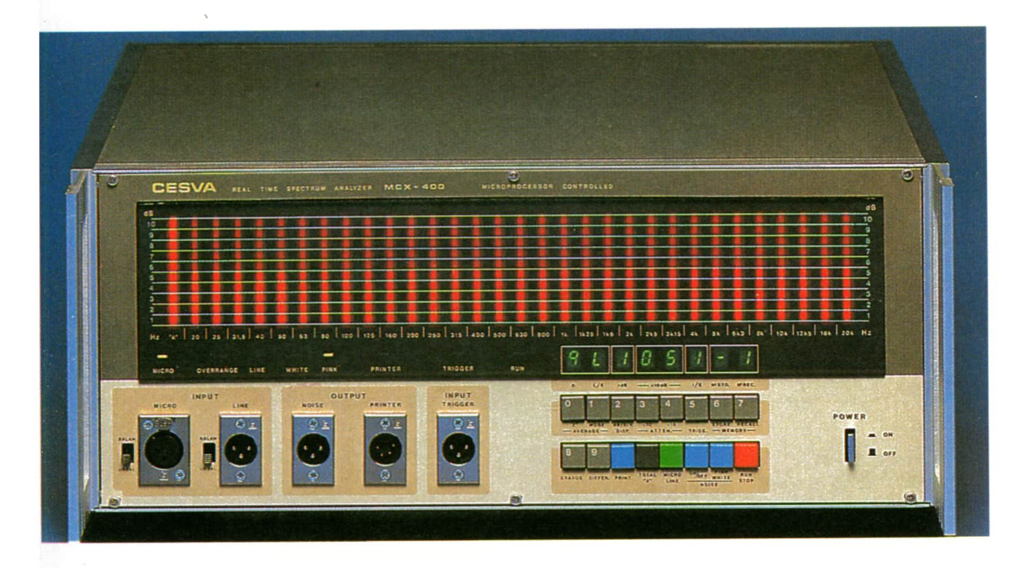
Figura 34. Filtro básico obtenido a base de un amplificador operacional. Los elementos externos solamente lo constituyen dos resistencias, y su valor determina el comportamiento del conjunto.

El esquema del filtro básico se representa en la figura 34. La función de transferencia de este filtro es la siguiente:

$$H(s)=\frac{\frac{R_2R_3}{R_1+R_2}C_1S}{1+\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}(C_1+C_2)S+\frac{R_1R_2R_3}{R_1+R_2}C_1C_2S^2}$$

$$\text{con } \omega=\sqrt{\frac{R_1+R_2}{R_1R_2R_3C_1C_2}}$$

Analizador de espectro en tiempo real controlado mediante microprocesador. Las aplicaciones de este equipo son para acústica en general, en la emisión, electroacústica, medida de deformaciones, vibraciones, verificación de equipos, mantenimiento y diagnosis de averías, etc. (Cortesía: Cesva).



en resonancia tendremos:

$$H(s)=\frac{R_3C_1}{R_1(C_1+C_2)}$$

Y el factor de calidad Q vale:

$$Q=\frac{\sqrt{C_1C_2}}{C_1+C_2}\cdot\sqrt{\frac{(R_1+R_2)R_3}{R_1R_2}}$$

Finalmente, si $C_1 = C_2$:

$$H = \frac{R_3}{2R_1} \quad \text{y} \quad Q = 1/2\sqrt{\frac{(R_1 + R_2)R_3}{R_1 R_2}}$$

El factor Q es independiente de la ganancia del amplificador y, para $C_1 = C_2$, resulta prácticamente independiente de las capacidades.



Minicadena completa de alta fidelidad que incluye el sintonizador, amplificador, reproductor de cassettes y ecualizador gráfico, todo ello, naturalmente, con posibilidad de trabajar en estereofonía. (Cortesía: Sharp).

Las fórmulas de diseño para este filtro son:

$$Q = \frac{f}{B}$$

donde:
Q es el factor de calidad, f es la frecuencia central y B es el ancho de banda del filtro.

$$R_1 = \frac{Q}{\Delta\omega C}$$

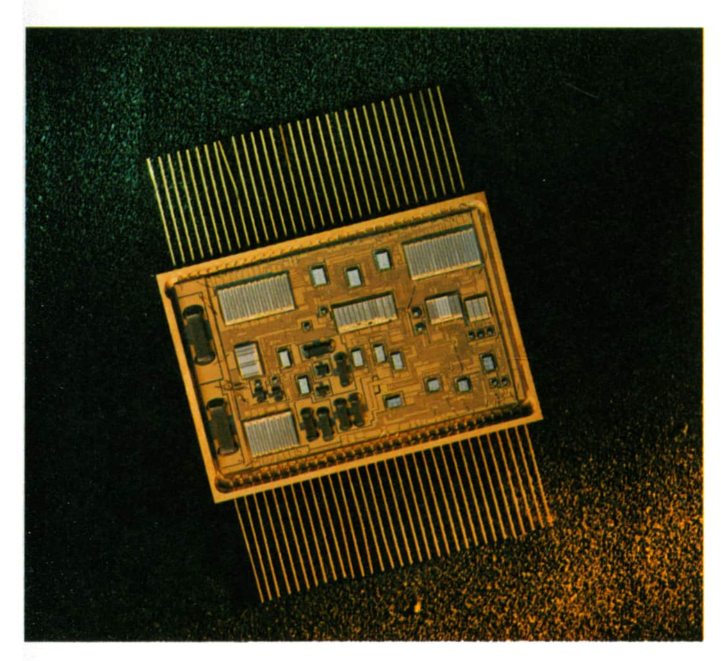
$$R_2 = \frac{Q}{(2Q^2 - \Delta)\omega C}$$

y por último:

$$R_3 = \frac{2Q}{\omega C}$$

donde:
A es la ganancia del filtro, ω es $2\pi f$ (y f es frecuencia central) y C es $C_1 = C_2$.

Elegidas las siguientes frecuencias centrales por considerarlas las más convenientes, se procede al cálculo, tomando como valor de $Q = 0{,}79$, por ser el más ajustado para conseguir la solapación precisa. Las frecuencias de actuación son: 42 Hz, 139 Hz, 460 Hz, 1,5 kHz, 5 kHz, 16,5 kHz. Los valores de los componentes se detallan en el cuadro de la figura 38.



Los circuitos híbridos, como el de la figura, se emplean cada vez más en los equipos de alta fidelidad. Las aplicaciones se centran en los diversos filtros de los ecualizadores, simplificando en buena parte la circuitería tradicional de estos equipos.

Obsérvese que se dan los valores comerciales de los componentes y valores distintos para C_1 y C_2. Esto se debe a que se intenta conseguir el mejor ajuste entre los componentes para evitar valores inexistentes comercialmente.

f	C_1	C_2	R_1	R_2	R_3
42 Hz	0,1 μF	1 μF	10 K	33 K	6 k8
139 Hz	10 μF	0,1 μF	33 K	100 K	22 K
460 Hz	10 μF	0,1 μF	10 K	33 K	6 k8
1 k5	1 μF	10 μF	33 K	100 K	22 K
5 K	1 μF	10 μF	10 K	33 K	6 k8
16 k5	0,1 μF	1 μF	33 K	100 K	22 K

Figura 38. Relación de componentes para un circuito ecualizador gráfico de seis escalas.

Calculados ya todos los valores de los filtros, pasamos a la etapa mezcladora. La forma más sencilla de mezclar una serie de señales sin que se interfieran, y con una buena adaptación de impedancias, consiste en utilizar el circuito sumador de la figura 39.

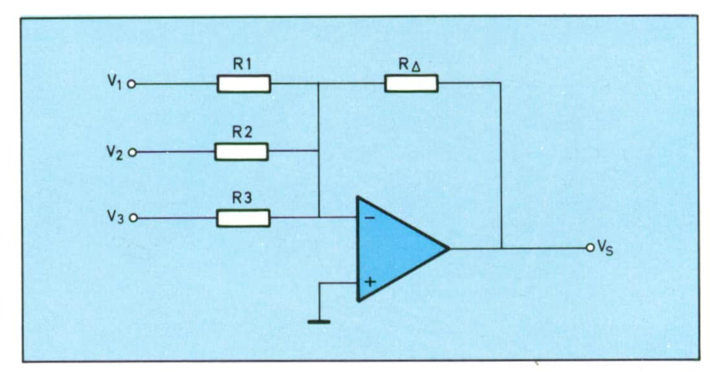


Figura 39. Circuito sumador analógico de tres entradas, V_1, V_2, y V_3, cada una de ellas provista de la resistencia correspondiente.

Este sumador analógico tiene una función de transferencia como la que sigue:

$$v_s = -\left[v_1 \frac{R_1}{R_1} + v_2 \frac{R_1}{R_2} + v_3 \frac{R_1}{R_3} + \ldots \right]$$

Un punto interesante es que haciendo $R_1 = R_2 = R_3$, etc. las señales se mezclarán sin que ninguna de ellas se vea

favorecida. Si se modifica la relación entre las diversas resistencias se podrá reforzar voluntariamente la reproducción de ciertas frecuencias, independientemente de la acción del potenciómetro, que podrá aumentar aún más ese efecto.

En nuestro circuito se ha elegido la versión lineal, es decir, con todas las resistencias del sumador iguales para no modificar el sonido original.

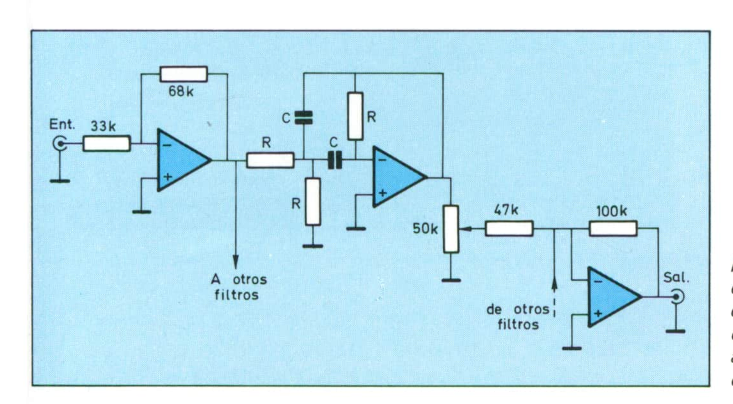


Figura 40. Circuito correspondiente a un ecualizador gráfico en el que intervienen varios amplificadores operacionales.

El esquema del circuito completo puede verse en la figura 40, recomendamos al lector que lo compare con el circuito del kit que se ofrece en las páginas 52 a 57. Su similitud es debida a que el diseño se lleva a cabo de forma análoga en casi todos los ecualizadores gráficos, aspecto que puede verificarse en la práctica.

CONDICIONES DE ACTUACION SOBRE ECUALIZADORES Y FILTROS

Para conseguir el mejor resultado con un equipo de ecualización, resulta imprescindible conocer las frecuencias que comprende la fuente sonora que se trata de corregir. En la figura 41 se expresa de forma aproximada la banda de frecuencias que comprenden algunos de los instrumentos más usuales.

Según uno de los diversos estudios realizados, podemos dividir el espectro de frecuencias en seis partes:

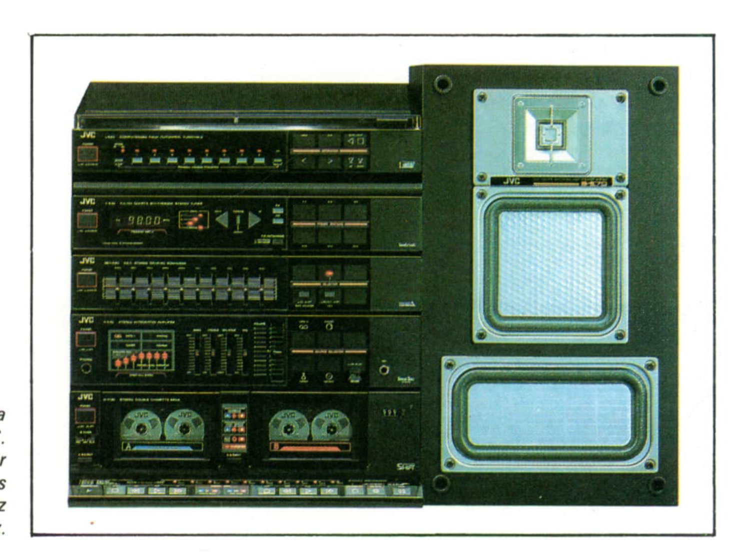
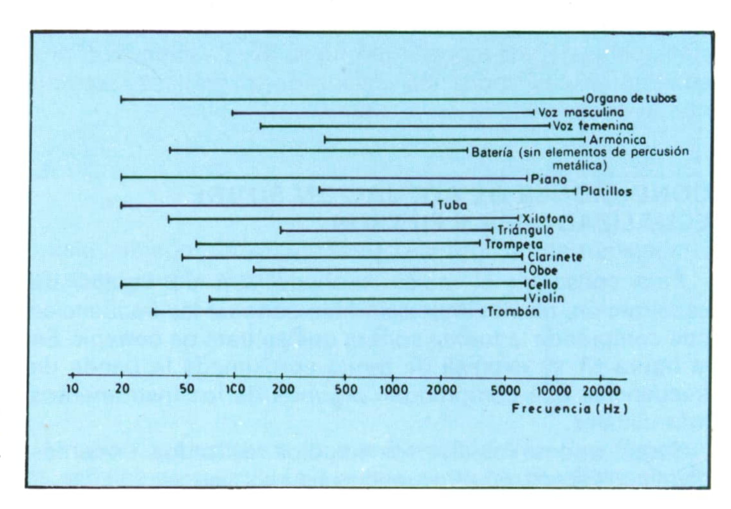


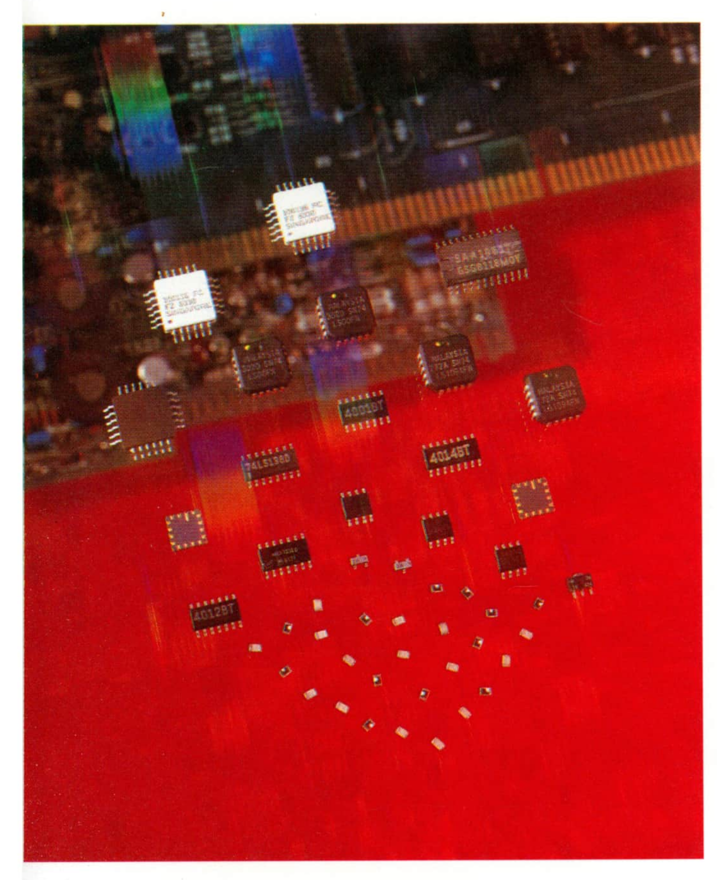
Figura 41. Minicadena completa de la firma JVC. A destacar el ecualizador gráfico que cubre las frecuencias desde 31,5 Hz a 16 kHz.

1) *Frecuencias muy bajas,* entre 16 y 60 Hz. Estas frecuencias dan a un programa musical la sensación de potencia, sobre todo si se producen de forma súbita. Si se producen continuamente o con demasiado énfasis, producen un enmascaramiento del pasaje musical y lo ensucian. Deben utilizarse con discreción.



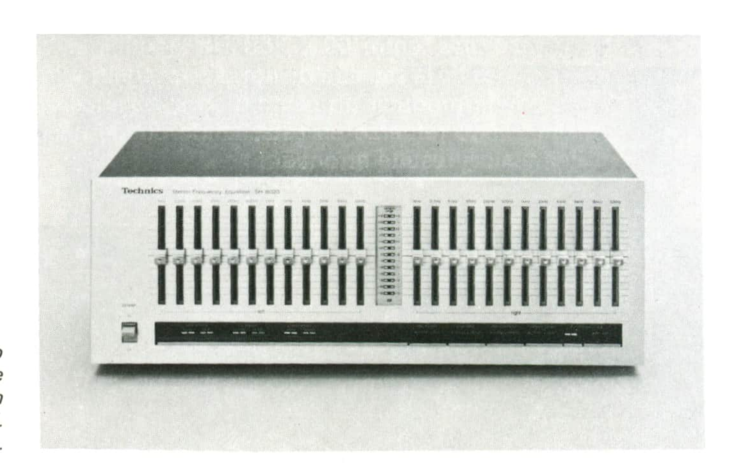
Banda de frecuencias que comprenden o abarcan los principales instrumentos musicales.

2) *Frecuencias bajas,* entre 60 y 250 Hz, contienen las notas fundamentales de la sección de ritmo y la ecualización de esa banda puede producir un cambio en el balance del programa. Demasiado refuerzo en esta banda puede hacer que el pasaje musical resulte atronador.



La incorporación de la microelectrónica en los equipos de hi-fi está consiguiendo aumentar las prestaciones de estos aparatos, al tiempo que disminuir el tamaño del conjunto. En la figura puede verse un amplio muestrario de dispositivos semiconductores: circuitos integrados, microprocesadores y memorias. (Cortesía: Siemens).

3) La *banda media de frecuencias,* entre 250 y 2.000 Hz, contiene armónicos de bajo valor de algunos instrumentos musicales. Un excesivo refuerzo de esta banda puede producir un sonido con efecto nasal o telefónico. Reforzando entre 500 y 1.000 Hz se consigue que el sonido parezca



Ecualizador gráfico estereofónico con doce niveles de actuación en cada canal. (Cortesía: Technics).

proceder del interior de un tubo. Si se refuerza de 1 kHz a 2 kHz, la impresión es de que procede de un tubo metálico. Demasiado refuerzo en toda esta banda puede ocasionar un efecto de fatiga auditiva en el oyente.



Ecualizador gráfico estereofónico con controles para cinco zonas claves de frecuencia.

4) La *banda media/alta*, entre 2 y 4 kHz, resulta la más importante para el reconocimiento de la voz; si se modifica con exceso se conseguirá una voz con acusado «ceceo». Los fonemas que se forman fundamentalmente con los labios (*m, b* y *v* fundamentalmente) resultarán confusos. También produce fatiga un refuerzo excesivo de las frecuencias alrededor de 3 kHz.

5) Las *frecuencias medias/altas*, entre 4 y 6 kHz, son las responsables de la «claridad» y «transparencia» de la voz y los instrumentos. El incremento de ecualización para frecuencias alrededor de 5 kHz produce el mismo efecto sobre nuestro oído que si el pasaje musical se hubiese incrementado en 3 dB de nivel. Este truco lo emplean algunos ingenieros de sonido para dar una mayor impresión de nivel al registro. La atenuación de estas frecuencias produce un sonido más transparente y distante.



Cadena de alta fidelidad completa que incluye plato giradiscos, sintonizador, amplificador, reproductor de cassettes, temporizador para programar el equipo y ecualizador con posibilidades de ajuste en las gamas de frecuencia 60 Hz, 150 Hz, 400 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 6 kHz y 15 kHz. (Cortesía: Pioneer).

6) La *banda de altas frecuencias*, entre 6 y 16 kHz, sirve para controlar el «brillo» y la «claridad» de los sonidos. Un excesivo refuerzo puede producir un sonido cristalino y siseos en la *s* y vocales.



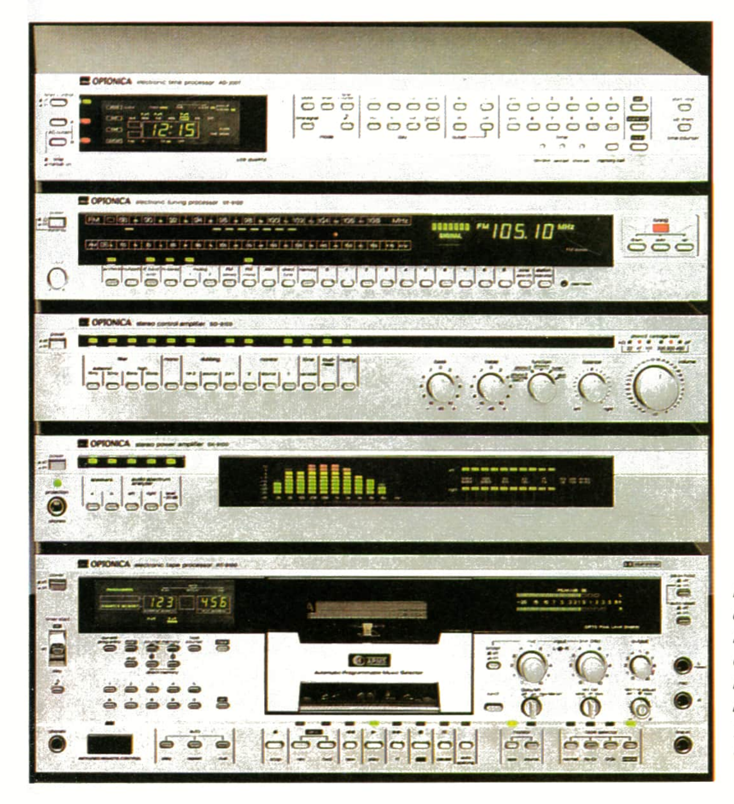
El ecualizador gráfico refuerza el trabajo del resto del módulo. (Cortesía: Sony).

La mejor manera de ecualizar se basa en comparar siempre la señal natural con la ecualizada, sin olvidar nunca la diferencia de nivel que ciertos tipos de ecualización exagerados comportan, lo que nos puede inducir a creer que es buena una ecualización que, en condiciones normales de audición, nos sería desagradable.



Amplificador estereofónico con ecualizador gráfico y un indicador luminoso del nivel de potencia. (Cortesía: Marantz).

Es imprescindible también conocer las limitaciones que esta señal tendrá con posteridad si la grabación está destinada a una edición comercial. Por ejemplo, es absurdo que se intente ecualizar por encima de 12 kHz una grabación destinada a comercializarse en el formato cassette, ya que la cinta cassette duplicada a alta velocidad no está en condiciones de registrarlo. Este error producirá, además, una elevada distorsión por saturación en las altas frecuencias.

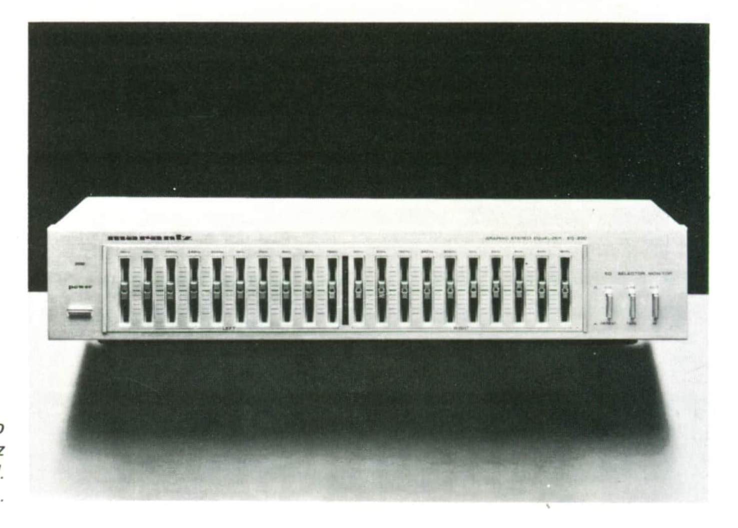


Los microprocesadores están presentes en un número creciente de equipos comerciales de hi-fi, persiguiendo una mayor eficiencia acústica y nuevas posibilidades de control.
(Cortesía: Optónica).

EL AJUSTE DEL ECUALIZADOR

La condición primera de la corrección con ecualizador es el conocimiento preciso de las frecuencias que se deben retocar. Como ya se ha señalado antes, un ecualizador

constituye un auxiliar práctico, pero bastante complejo en su correcta utilización. Este es el motivo por el cual, en la mayoría de los casos, un reglaje hecho exclusivamente «a oído» es decepcionante. Con objeto de que el ecualizador rinda al máximo de posibilidades, se deberán efectuar con anterioridad una serie de mediciones preliminares, exactas y minuciosas. Esto supone a priori una inversión financiera importante, así como un poco de paciencia. Los más expertos en el tema pueden estar pensando en algún instrumento Brüel y Kjaer, cuyo valor excede el centenar de miles de pesetas, pero pueden conseguirse resultados parecidos, sin necesidad de invertir tal cantidad de dinero, con un analizador de audio más sencillo, por ejemplo.



Ecualizador gráfico estereofónico de diez saltos por canal. (Cortesía: Marantz).

Por otra parte, no se precisa una exactitud rigurosa, es decir, no se trata de saber si un valle o una cresta se encuentra exactamente en 256 Hz, pero sí de cómo eliminarlo, lo que constituye nuestro objetivo final.

Para la corrección acústica de salas y auditorios se presentan varias soluciones. Aunque el proceso de conjunto es siempre el mismo, en la práctica se pueden utilizar diferentes elementos auxiliares, como pueden ser: el analizador de audio (fundamental), micrófonos de medida (sonó-

metros), auriculares, grabaciones de prueba, etc. Cada uno de estos sistemas tiene sus propias ventajas e inconvenientes. En sistemas de sonorización pública los ajustes son bastante más simples que los de una cadena hi-fi.



Juego completo de equipos de hi-fi ya instalados en un mueble. El ecualizador permite un control del tono para cada una de las funciones que se exijan a la cadena. El de la figura comprende siete bandas, cuyas frecuencias centrales son 60 Hz, 150 Hz, 400 Hz, 1 kHz, 2,4 kHz, 6 kHz y 15 kHz. (Cortesía: Pioneer).

Para incorporar un ecualizador a una cadena estereofónica, al igual que en un sistema de megafonía, es necesario determinar en qué punto del equipo se va a insertar. Algunos amplificadores vienen del fabricante dotados de una salida de monitor que sirve perfectamente para nuestro propósito. En caso de no existir esta salida es necesario encontrar en el amplificador un punto de conexión apropiado para conectar el ecualizador. Esto, generalmente, se hará en el potenciómetro de volumen.

Una vez instalado el ecualizador en la cadena hi-fi, dispondremos de varios métodos para su correcto ajuste. El más sencillo consiste en utilizar el analizador de audio junto con un micrófono de medida o sonómetro. Otra posibilidad es utizar el analizador y unos simples cascos (auriculares) de alta impedancia, y aun sólo con los cascos pueden conseguirse resultados aceptables. Vamos a describir cada uno de estos sistemas con más detalle.



Sencillo y económico ecualizador Vortex.

Con analizador y sonómetro

Es un sistema muy sencillo que consiste en trazar la curva de la respuesta en frecuencia del equipo/sala. Una vez dibujada, podemos actuar sobre los controles del ecualizador hasta conseguir la respuesta más plana posible. Es importante que se actúe sobre cada mando separadamente, colocando los demás en su posición de actuación nula.

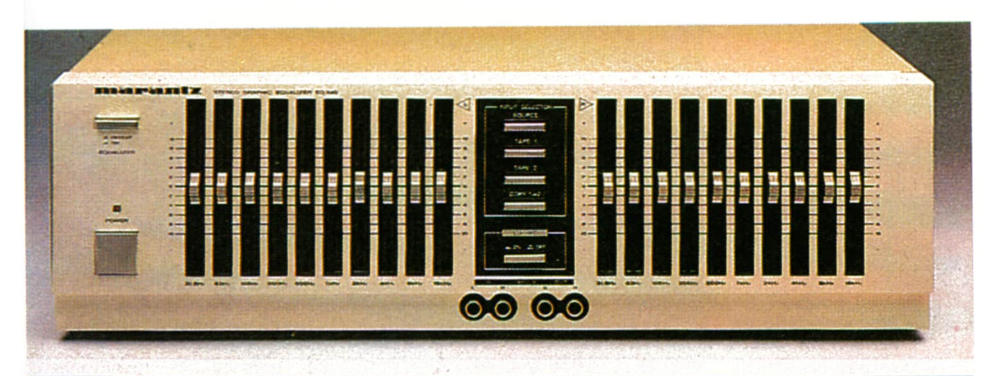


Disposición de un sistema de medida de la distorsión TIM. Obsérvese la gran cantidad de sofisticados equipos que se precisan para lograr unas mediciones fiables. (Cortesía: Vieta).

Con disco de prueba

No es difícil encontrar en el comercio discos de prueba con grabaciones de bandas de frecuencia a base de ruido rosa; un disco de este tipo puede sustituir al generador de ruido del analizador.

El procedimiento de ajuste es algo más complicado, ya que es necesario buscar el pasaje del disco adecuado a cada medición. De cualquier forma, esto no afecta a la precisión de la medida.



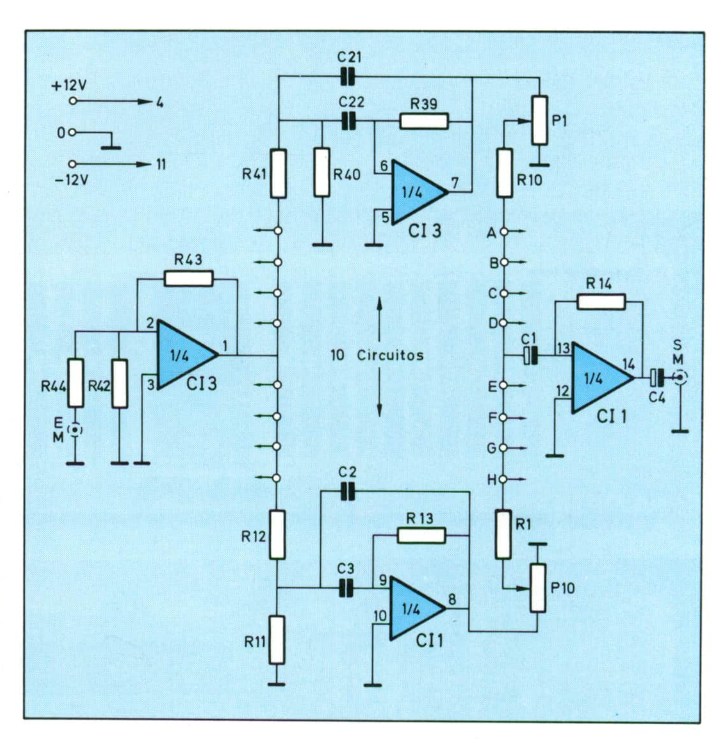


Los ecualizadores pueden encontrarse como módulos independientes (parte superior), que incluye además 10 bandas por canal, con copia de cintas y anulador de ecualización, o formando parte de otros equipos, como el mezclador representado en la parte inferior. (Cortesía: Marantz).

Con onda senoidal pura

Teóricamente también se puede utilizar un generador de onda senoidal pura; sin embargo no es muy aconsejable, puesto que la respuesta del sistema es una rápida sucesión

de variaciones de amplitud de la señal. Cuando se emplea este sistema para tomar medidas éstas se ven influenciadas por tales picos y crestas, por lo que es preciso calcular la respuesta a la frecuencia «media».



Esquema eléctrico del ecualizador gráfico estereofónico «Sales Kit SK - 10». Se ha simplificado la configuración interna de cada banda de frecuencia, dejando constancia únicamente de dos de ellas.

ECUALIZADOR EN FORMA DE KIT DE MONTAJE

Existen en el mercado varias marcas comerciales que distribuyen diferentes tipos de kits de montajes electrónicos: casi todas ellas tienen en sus respectivos catálogos algún ecualizador para audio. El que aquí vamos a comentar está fabricado por Sales Kit y distribuido en numerosísimos puntos de venta en España e Iberoamérica, se trata del kit referencia SK-10.

En este ecualizador destacan las siguientes características:

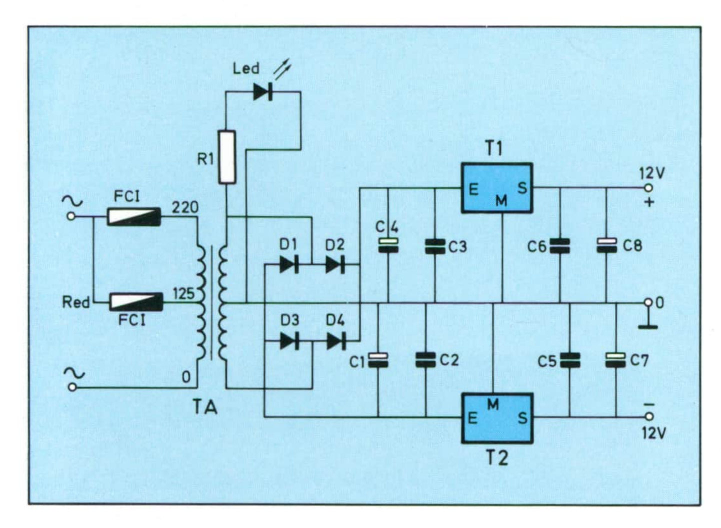
10 octavas por canal

Ecualizador de cinta y de línea

Respuesta de frecuencia de 20 a 20.480 Hz ± 0,5 dB
Relación señal/ruido de 96 dB para 2 Vef de salida
Impedancia de salida 600 Ω
Frecuencias de control 32, 64, 125, 250 y 500 Hz; 1, 2, 4, 8 y 16 kHz

Esquema eléctrico

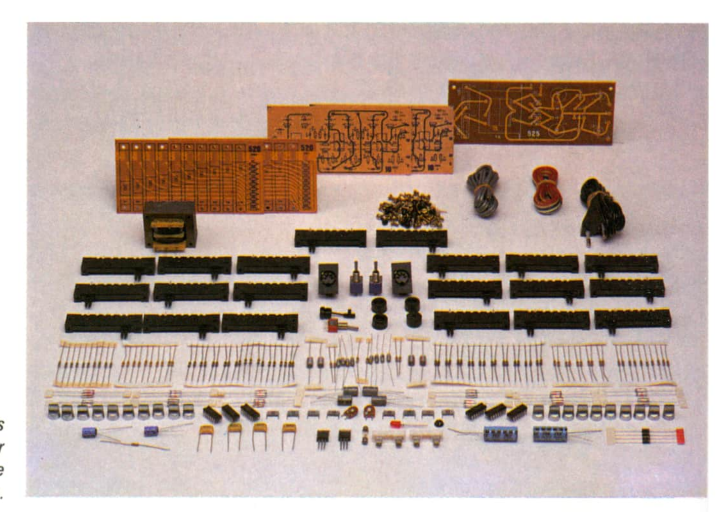
Si pretendiéramos dibujar el circuito completo resultaría harto laborioso y repetitivo, de ahí que se hayan representado solamente las etapas de dos filtros de banda de los diez que forman el ecualizador, el primero de 32 Hz y el último de 16 kHz. Los ocho filtros restantes son exactamente iguales, ajustados a las frecuencias que gobiernan.



Fuente de alimentación simétrica, obtenida mediante dos circuitos integrados estabilizadores, para el ecualizador gráfico en kit, SK - 10.

Todo el conjunto debe quedar duplicado en el supuesto de que se adapte a un equipo estereofónico.

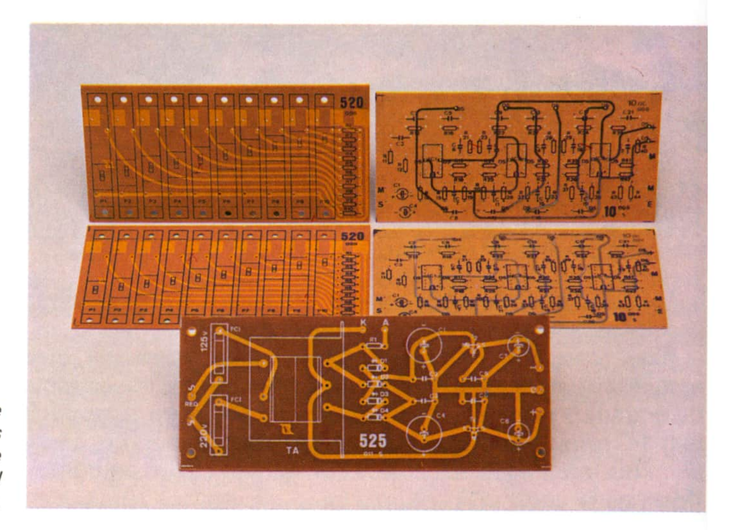
Para este conjunto ecualizador son necesarios diez amplificadores operacionales, un adaptador de impedancia de entrada y un amplificador de salida. Serán en total doce etapas operacionales que pueden obtenerse con tres circuitos integrados, los cuales constan de cuatro amplificadores cada uno.



Componentes y circuitos impresos del ecualizador para el kit de montaje SK-10.

Las salidas de los circuitos quedan compensadas con las resistencias de R_1 a R_{10}.

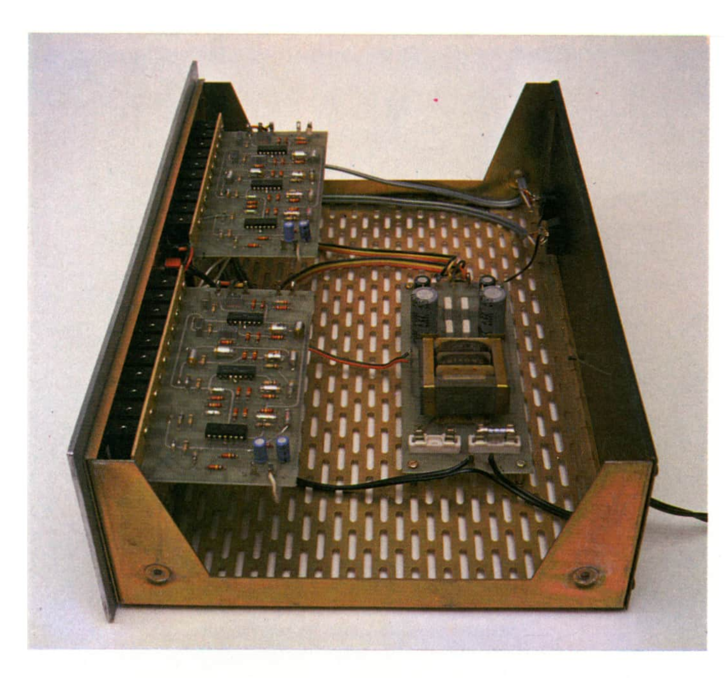
La alimentación del circuito se obtiene mediante una fuente de alimentación simétrica de gran estabilidad a base de dos circuitos integrados.



Detalles de la serigrafía de los diferentes circuitos impresos que componen el Kit SK-10.

Montaje del circuito

Se trata de un circuito impreso de doble cara que exige un cuidado mayor en el montaje de los componentes.



Ubicación de los circuitos impresos del ecualizador del Kit SK - 10, una vez montados en el interior de la caja.

Resistencias

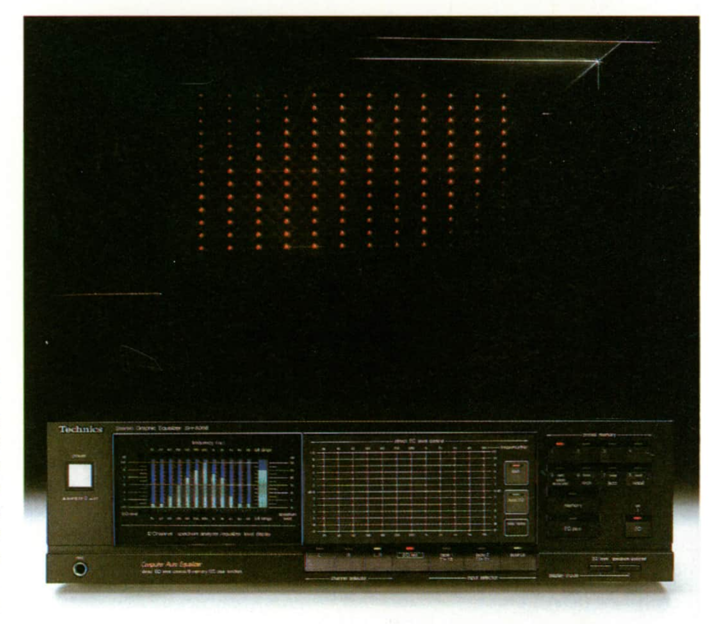
R_{42}	5k6
R_{14}, R_{43}	27 kΩ
R_{44}	100 kΩ
R_{11}, R_{12}, R_{17}, R_{18}, R_{19}, R_{20}, R_{21}, R_{23}, R_{24}, R_{25}, R_{28}, R_{29}, R_{30}, R_{31}, R_{33}, R_{35}, R_{36}, R_{37}, R_{40}, R_{41}	120 kΩ
R_{13}, R_{15}, R_{16}, R_{22}, R_{26}, R_{27}, R_{32}, R_{34}, R_{38}, R_{39}	1 MΩ

Condensadores

C_1, C_4	22 μF

C_2, C_3	47 pF
C_5, C_6	150 pF
C_7, C_8	82 pF
C_9, C_{10}	680 pF
C_{11}, C_{12}	330 pF
C_{13}, C_{14}	2k7 pF
C_{15}, C_{16}	1k5 pF
C_{17}, C_{18}	10 kpF
C_{19}, C_{20}	5k6 pF
C_{21}, C_{22}	22 kpF

Además de estos componentes hay que tener presente la colocación de los potenciómetros deslizantes y de las resistencias de 4k7 (R_1 a R_{10}) y los circuitos integrados.



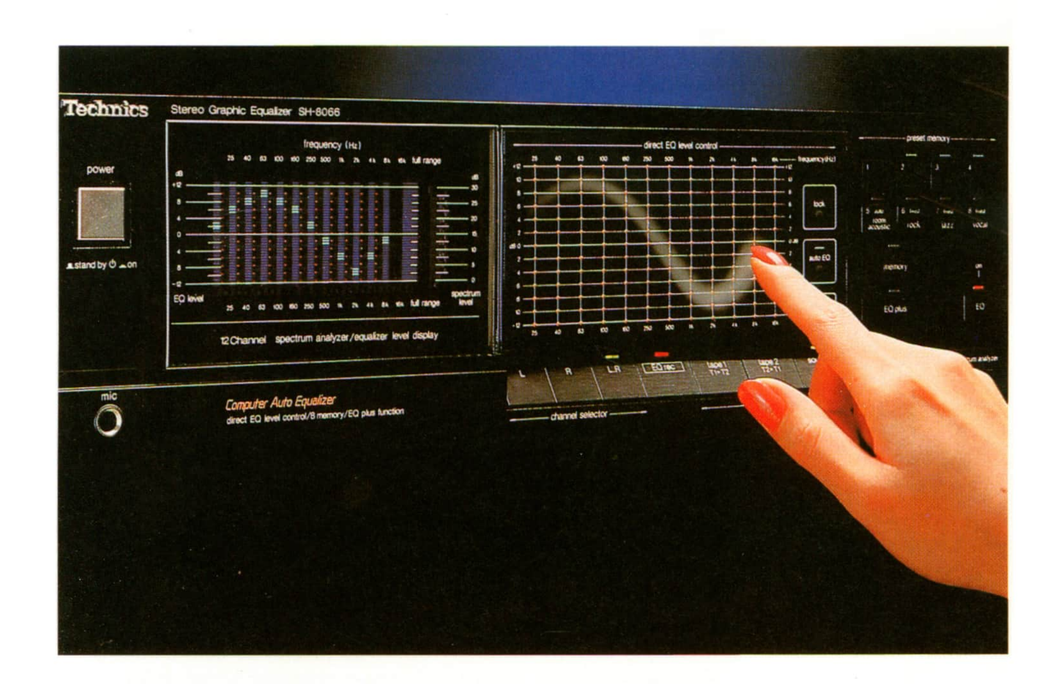
Ecualizador gráfico estereofónico con analizador de espectro e indicador directo del nivel en el que trabaja cada una de las bandas. En la parte superior se observa una ampliación del efecto luminoso de los controles de frecuencia. (Cortesía: Technics).

Fuente de alimentación

Para que los circuitos integrados reciban la tensión adecuada y estabilizada, se dota al montaje de una fuente de

alimentación simétrica capaz de proporcionar 12+12 V con 200 mA de máxima corriente.

Los integrados de esta fuente son del tipo μA 7812 y μA 7912.



Sofisticado ecualizador computerizado SH - 8066 de Technics; incluye el analizador de espectro con indicación de nivel mediante display, lo que permite corregir exactamente la respuesta sonora al gusto del audiófilo.

Prueba final

El ecualizador se conecta en serie entre el previo y la etapa final, procediendo al ajuste de cada uno de los filtros para enriquecer la respuesta sonora del amplificador que recoge la señal de un plato giradiscos, cassette, radio, etc.

Un buen ecualizador también resulta de utilidad en la recuperación de grabaciones antiguas o en mal estado. A pesar de todo, su utilidad primordial se centra en el control de varias bandas de frecuencia, cuantas más mejor, aunque con 10 ya es suficiente si cubre bien toda la gama de frecuencias audibles entre 20 Hz y 20 kHz ya que las frecuencias más elevadas no son apreciados por un oído corriente.

LEXICO DE TERMINOS UTILIZADOS EN ALTA FIDELIDAD

Como complemento del diccionario de Electrónica e Informática que se entregó a los lectores de la Enciclopedia de las «Nuevas Tecnologías» junto con la entrega primera, incluimos aquí una relación de los principales términos empleados frecuentemente en Alta Fidelidad.

alta fidelidad (*high fidelity*). Expresión que se asigna a un sistema de calidad excepcional que cumple por lo menos la norma DIN 45500.

altavoz coaxial (*coaxial speaker*). Altavoz que lleva incorporado en el mismo eje un altavoz de agudos, a veces en la parte posterior y otras en la parte frontal. Su ventaja consiste en que toda la gama de frecuencias es reproducida por el mismo altavoz, con lo que se minimiza el problema de los distintos tiempos de llegada de la señal.

altavoz para medios (*squawker*). Permite la reproducción efectiva de señales con frecuencias en la banda media (frecuencias medias audibles).

analizador de tiempo real (*real-time analyzer*). Instrumento utilizado en el análisis de la banda de audio. Muestra en un tubo de rayos catódicos la banda de audio, dividida en tercios de octava.

ancho de banda (*bandwidth*). Es la banda de frecuencias que pueden ser reproducidas por un amplificador. Cuando la banda es amplia, el amplificador estará posibilitado para reproducir una amplia gama de frecuencias. Este término es usado también en radiofrecuencia.

armónico (*harmonic*). Componente de una onda periódica cuya frecuencia es múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

atenuación (*attenuation*). Disminución de nivel, expresado en dB.

atenuador (*fader*). Elemento destinado a controlar el nivel en un circuito, generalmente incorporado en la mesa de mezclas, a diferencia de los situados en un amplificador.

bajos (*bass*). Frecuencias comprendidas en la zona baja de

audiofrecuencia. Se dice generalmente de las que cubren el margen de 20 a 200 Hz.

balance (*balance*). Control manual de equilibrio estereofónico que permite actuar sobre los canales izquierdo y derecho sin tener que variar el volumen.

bel. Unidad de una escala logarítmica de potencias. Dos potencias difieren en un bel cuando están en la relación 10:1.

bucle de enganche de fase (*phase-locked loop-PLL*). Circuito que persigue la frecuencia de una señal de referencia variando el oscilador (VCO).

cabeza magnética (*magnetic head*). Transductor reversible que transforma la corriente de audio en flujo magnético y viceversa.

cámara anecoica (*anechoic chamber*). Habitación especialmente acondicionada para efectuar las mediciones acústicas. Su característica principal es el tratamiento que reciben todas las superficies, ya que están totalmente cubiertas de material absorbente, a fin de que no reflejen señal alguna; así el micrófono sólo recibe la señal proveniente del altavoz sin que la habitación afecte el resultado de la medición.

cámara reverberante (*reverberation chamber*). El tratamiento de esta habitación es totalmente opuesto al de la cámara anecoica. En la reverberante, todas las superficies están cubiertas de un material reflectante que puede ser distinto según el tiempo de reverberación que se quiera conseguir. Estas cámaras son utilizadas para medir la potencia sonora radiada de cualquier elemento, ya sea, por ejemplo, un altavoz o una máquina lavadora.

cassette. Formato de cinta magnética originalmente diseñado por Philips, contenida en el interior de un cargador.

CCIR (*International Radio Consultative Comittee*). Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones. La curva de ecualización para magnetofónos a carretes se ajusta a esta noma.

centelleo (*flutter*). Distorsión resultante de las fluctuaciones de la velocidad que se presentan durante el registro, reproducción o duplicación de un programa.

control automático de frecuencia (CAF) (*automatic*

frequency gain). Es un circuito de control sobre el oscilador local para evitar que se desvíe su frecuencia central y fija una emisora una vez sintonizada.

control automático de ganancia (CAG) (*automatic gain control*). Circuito que mantiene un nivel constante de señal tanto en radioofrecuencia como en FI y evita que se sature el amplificador de entrada.

cuadrafonía (*quad*). Sistema de grabación en el que se registran cuatro canales.

curva RIAA (curva de preacentuación en el registro discográfico). Se denomina curva RIAA a la ecualización introducción mediante un filtro en la grabación de un disco para atenuar las frecuencias bajas y realzar las agudas, debiéndose desecualizar las señales recogidas de los discos para obtener la respuesta plana.

dBm. Abreviatura de decibelios sobre 1 mW; unidad utilizada en la especificación de niveles de entrada.

dBv. Abreviatura de decibelios sobre 1 voltio.

DBX. Sistema de reducción de ruido.

decibel (dB). El decibel es la décima parte del bel y expresa la relación entre dos magnitudes. En cuanto al valor, es igual a diez veces el logaritmo decimal de la relación entre dos potencias o intensidades de sonido, una de las cuales representa el nivel cero o de referencia.

decodificación (*decoding*). Proceso complementario aplicado a una señal, generalmente en el momento de la reproducción para devolverla a su estado normal.

desacentuación (*deemphasis*). Cambio en la frecuencia de respuesta de un sistema de reproducción que complementa el préenfasis introducido en un registro o transmisión. Se aplica especialmente en el registro magnético discográfico, así como en las transmisiones de FM.

diafonía (*crosstalk*). La diafonía es el fenómeno que ocurre cuando en la reproducción del canal izquierdo se tiene información del canal derecho y viceversa. Evidentemente se hace referencia al sonido estereofónico.

dinámica (*dynamic*). Diferencia expresada generalmente en dB entre el menor nivel de registro (determinado por el ruido de fondo) y el mayor (limitado por el nivel de saturación).

distorsión (*distortion*). En general, señales de salida que no corresponden con la señal de entrada.

dolby. Sistema de reducción de ruido más extendido para aplicación en magnetofónos. El dolby A se utiliza en equipos profesionales, mientras que el dobly B se utiliza en FM y en magnetófonos de aficionado.

ecualizador (*equalizer*). Unidad para la corrección de la respuesta en frecuencia. El ecualizador sirve para restaurar el balance tonal necesario y normalmente se encuentra incorporado en el preamplificador.

efecto Doppler (*Doppler effect*). Fenómeno que se observa al variar la distancia entre una fuente sonora y el observador, lo que produce un aparente cambio de frecuencia en la señal recibida.

efecto Haas (*Haas effect*). Propiedad que refleja el efecto subjetivo de que un sonido reflejado parece proceder de la fuente directa cuando su tiempo de retardo es inferior a 50 ms y su intensidad es no superior en 10 dB respecto al sonido directo.

efecto Larsen (*Larsen effect*). Realimentación acústica o autoscilación del sistema cajas acústicas-amplificador-tocadiscos, que puede llegar a niveles que impidan totalmente la audición.

factor de calidad (*Q*). Característica de un circuito resonante relacionada con la agudez de resonancia.

filtro (*filter*). Dispositivo selectivo que transmite una parte del espectro de frecuencia atenuando el resto.

fon (*phon*). Es la unidad de nivel de sonoridad.

frecuencia de corte (*cut-off frequency*). Frecuencia límite para la que el valor de una magnitud está por debajo de un valor establecido.

frecuencia intermedia (FI) (*intermediate frequency*). Es la resultante de sumar la señal procedente de la antena con la del oscilador; para AM es 456 kHz y para FM es de 10,7 MHz.

ganancia (*gain*). Grado de amplificación de una señal proporcionado por un determinado circuito. Suele expresarse en dB.

gimoteo (*wow*). Fluctuaciones de la velocidad en un giradiscos. Es un componente del lloro.

hiss (*hiss*). Ruido de fondo parásito existente en las cintas magnéticas.

IEC (*International Electrotechnique Comittee*). Siglas de la comisión electrónica internacional.

isosonía. Expresión que caracteriza la igualdad de sonoridad.

intensidad sonora (I) (*sound-intensity*). Es el flujo promediado en el tiempo de potencia sonora a través del área unitaria.

Ley de Weber-Fechner. Ley fisiológica que expresa con cierta aproximación que la sensación es proporcional al logaritmo del estímulo.

línea acústica de retardo (*acoustic delay line*). Sistema de producir una señal retrasada en el tiempo con respecto a otra original. El sistema se vale de medios puramente naturales (tubos, laberintos, etc.) para conseguirlo.

longitud de onda (λ) (*wavelength*). Es la mínima distancia entre dos frentes de onda con igual estado de vibración.

lloro (*wow*). Titilación de baja frecuencia producida por la variación de velocidad del sistema de transporte mecánico de un equipo de reproducción.

medidor de pico (*peak meter*). Instrumento utilizado para medir las amplitudes de las señales, expresadas en valores de pico.

modulación en frecuencia (*FM*). Sistema consistente en codificar una señal mediante una variación de la frecuencia central de la portadora permaneciendo invariable en amplitud. Permite la transmisión en alta fidelidad.

modulación por impulsos codificados (*PCM pulse code modulator*). Sistema de codificación basado en señales binarias y apto para almacenar información musical.

multiplexado de señales (*multiplex o MPX*). Permite la transmisión de dos canales independientes con una sola portadora, como es la FM estereofónica.

nivel de presión sonora (dB NPS) (*SPL*). Se emplea para expresar el nivel de presión acústica de cualquier sonido o ruido. Aunque el dB expresa una relación, al tomar una referencia (0 dB NPS equivale a 20 μPa y corresponde al umbral de audición del oído humano). No existen indicaciones menores de 0 dB NPS, ya que sino es audible, no es sonido.

oscilador controlado por tensión (*voltage controlled oscillator* (*VCO*)). Con este circuito es posible variar la frecuencia del oscilador mediante una tensión continua; tiene una gran utilidad en los sistemas PLL (enganche de fase).

polarización de cinta (*bias*). Señal de alta frecuencia aplicada a la cinta en el registro para optimizar su respuesta en frecuencia y reducir su distorsión.

potencia musical (*music power*). Es la potencia entregada por un amplificador en un período corto de tiempo y sin exceder el nivel de distorsión especificado.

potencia RMS (*RMS power*). Es la potencia que puede entregar un amplificador, sin distorsión y por un prolongado período de tiempo. Esta es la más efectiva y razonable indicación de la potencia del equipo. También se le llama potencia eficaz.

preacentuación (*preemphasis*). Cambio en la respuesta de frecuencias de una señal, de acuerdo con las necesidades o condicionantes de un sistema de registro o procesador de señal.

Q, factor. En un ecualizador, relación entre la frecuencia central y el ancho de banda. Aplicable sólo a ecualizadores paso banda.

reflex (*bass reflex*). Recinto acústico con una abertura por la cual sale en fase la señal proveniente de la parte posterior del altavoz, reforzándola.

relación señal/ruido (*signal to noise ratio*). Mide la relación entre la mayor señal y el ruido residual en un sistema de transmisión. Se expresa en dB.

RIAA (*Record Industries Association of América*). Institución encargada de dictar las normas para las caracteríxticas de la reproducción de grabaciones.

silenciador (*muting*). Conmutador que evita el ruido entre estaciones, bloqueando la señal de baja en el detector cuando no recibe ninguna portadora.

timbre (*timbre*). Cualidad del sonido que permite reconocer la naturaleza del instrumento que lo ha producido.

transformador de adaptación (*balun*). Adaptador de impedancias simétrico-asimétrico (300 Ω-75 Ω), utilizado entre la antena y el receptor cuando se precise.

trémolo (*flutter*). Distorsión de sonido producida por la falta de uniformidad en el movimiento del plato giradiscos o en el mecanismo de arrastre de cintas en grabadoras.

tweeter. Nombre dado a los altavoces encargados de reproducir las altas frecuencias, su traducción al español sería «trinador» y suelen ser altavoces de dimensiones pequeñas a fin de que no sean direccionales.

ultrasonido (*ultrasound*). Vibración de frecuencia superior a 20.000 Hz.

umbral de audición (*threshold of hearing*). Nivel 0 dB SPL correspondiente aproximadamente a la misma sensación audible del oído humano.

vúmetro (*VU-meter*). Medidor calibrado para expresar unidades de volumen.

woofer. Nombre dado al altavoz omnidireccional encargado de reproducir las frecuencias más bajas, su traducción al español sería «gruñidor». Su medida puede ser de 5″ en los sistemas miniatura y hasta de 15″ en las realizaciones más complejas.

zumbido (*hum*). Zumbido constante de baja frecuencia originado en fuentes de alimentación o en general por campos magnéticos o electrostáticos.

